



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica



SPECMAN

Engenharia, Diagnóstico e Manutenção, Lda

Estágio na empresa SPECMAN para a Prática de Técnicas de Controlo da Condição

PEDRO ALEXANDRE BARRACAS ROSA

Licenciado em Engenharia Mecânica

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Doutor Rui Pedro Chedas Sampaio
João António Sobreiro Louro de Matos

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado
Vogais:

Doutor José Augusto da Silva Sobral
Doutor Rui Pedro Chedas Sampaio

Dezembro de 2014



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica

Estágio na empresa SPECMAN para a Prática de Técnicas de Controlo da Condição

PEDRO ALEXANDRE BARRACAS ROSA
Licenciado em Engenharia Mecânica

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Doutor Rui Pedro Chedas Sampaio
João António Sobreiro Louro de Matos

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado
Vogais:

Doutor José Augusto da Silva Sobral
Doutor Rui Pedro Chedas Sampaio

Dezembro de 2014

“Somos responsáveis não só pelo que fazemos,
mas também pelo que deixamos de fazer...”

Molière

Agradecimentos

Gostaria de dirigir os meus sinceros agradecimentos a todos os elementos e colaboradores da empresa SPECMAN, que me acolheram durante o período de estágio e que a todos os níveis muitos ensinamentos me transmitiram.

Ao meu Co-orientador Eng. João de Matos, gostaria de agradecer a oportunidade que me foi concedida de realizar o Estágio numa empresa tão prestigiada no mundo do Controlo da Condição em Portugal como a SPECMAN.

Ao meu Orientador o Professor Chedas Sampaio, um especial agradecimento por me ter apoiado durante todo o período de estágio, pela oportunidade concedida e por toda a sabedoria que me transmitiu,

Aproveito para deixar um grande abraço de agradecimento ao Eng. João Pais por todo o apoio e ensinamento transmitido e à Cláudia Sequeira um obrigado por todo o companheirismo prestado.

Um agradecimento especial aos meus familiares e amigos por todo o apoio, carinho e amizade com que me brindaram neste percurso e a todas as pessoas que contribuíram directa ou indirectamente para a concretização deste trabalho.

Resumo

Hoje em dia a escolha de um modelo de Manutenção, adequado à especificidade dos equipamentos e da organização fabril, repercute-se de uma forma cada vez mais importante e imprescindível na Produção e na Qualidade e influencia significativamente, tanto os custos de manutenção, como os custos globais da empresa. Numa empresa ideal, toda a Manutenção deveria de ser previamente planeada de forma a maximizar a utilização dos recursos e a minimizar os inconvenientes devidos a avarias e a paragens indesejadas dos equipamentos. Neste contexto surge a Manutenção Condicionada como forma de tornar estes ideais em conceitos reais.

Este relatório pretende evidenciar a importância da Manutenção pelo Controlo da Condição dos equipamentos, obtida através da realização de um estágio numa empresa líder nesta área, a SPECMAN. De entre as diferentes técnicas de Controlo da Condição existentes, este estágio incidiu mais nas técnicas de Monitorização de Vibrações e Análise Termográfica, com a realização de vários serviços e obtenção de formação certificada.

A Medição & Análise de Vibrações é a técnica mais importante, por ser aplicada extensamente e com sucesso às máquinas/equipamentos rotativos existentes na quase globalidade das empresas industriais. As medições de vibrações, para além de serem boas indicadores de avarias, são fáceis de obter através de diferentes tipos de transdutores e fáceis de interpretar em relação a outros métodos existentes. Já a área da Medição & Análise Termográfica permite a detecção de avarias em todo o tipo de máquinas/equipamentos e até mesmo de corpos físicos, como o corpo-humano ou infra-estruturas. É uma técnica inovadora e em constante evolução, que pega num conceito simples – detecção de diferenças de temperatura por Radiação de Infravermelhos emitida pelos corpos – e o extrapola para várias áreas de aplicação.

Ao longo dos nove meses de trabalho a tempo inteiro na empresa, foram desenvolvidas uma série de actividades nas quatro áreas de actuação da empresa – comercial, formação, suporte técnico e prestação de serviços, sendo o objectivo principal, o de garantir conhecimentos e adaptação ao mundo real industrial. Todo o trabalho foi desenvolvido com uma base técnica e científica, dentro das possibilidades e meios disponíveis. Além de todos estes estudos e trabalhos, foram desenvolvidos alguns projectos de alteração,

adaptação e melhoria de alguns meios e técnicas, tanto nos seus processos, como na relação da empresa com os clientes. Estas alterações passaram a estar integradas num contexto e visão global do funcionamento da empresa e dos seus objectivos centrais.

Palavras-chave

Manutenção Condicionada, Controlo da Condição, Monitorização da Condição, Análise de Vibrações, Diagnóstico de Avarias, Equilibragem, Alinhamento de Veios, Termografia.

Abstract

Nowadays choosing a maintenance model, appropriate to a specific equipment and manufacturing organization, echoed in the importance and essence the Production and Quality departments have, which significantly influences both maintenance costs, as well as the overall costs of a company. In an ideal company, all maintenance should be pre-planned in order to maximize resource utilization and minimize disruption due to breakdowns and unwanted stop of equipment. In this context Conditional Maintenance emerges as a way to make these ideals into real concepts.

This report aims to highlight the importance of the Condition Based Maintenance of an equipment, obtained by performing an internship in a leading company in this area, SPECMAN. Among the different techniques of conditional control existing, this intern focused more on techniques for Monitoring Vibrations and Thermography Analysis, by executing various services and obtaining certified training.

The Measurement & Vibration Analysis is the most important technique to be widely and successfully applied to machinery and rotating equipment existing in almost whole of the industrial companies. Vibration measurements, in addition to being a good indicator of potential failures are easy to obtain through different types of transducers and easy to interpret in relation to other existing methods. The Thermography area allows the detection of faults in all kinds of machinery / equipment and even physical bodies, such as the human-body or an infrastructure. It is an innovative and evolving technique that takes a simple concept - detect temperature differences by Infrared radiation emitted by bodies - and extrapolates to various areas of application.

Over the nine months of full-time work in the company, a number of activities were undertaken in the four areas of activity of the company - commercial, training, technical support and service, with the main objective to ensure knowledge and adaptation to the real industrial world. All work was developed with a technical and scientific basis, within the possibilities and resources available. Apart from all these studies some improvements were made, as in its processes and techniques, but also with the company's relationship with customers. These changes began to be integrated in a global context and insight into the workings of the company and its core objectives.

Keywords

Predictive Maintenance, Condition Monitoring, Vibration Analysis, Failure Diagnostic, Field Balancing, Shaft Alignment, Thermography.

Abreviaturas

B&K – Brüel & Kjær Vibro

CEO – Chief Executive Officer

CPB – Constant Percentage Bandwidth

FFT – Fast Fourier Transform

ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

ISO – International Standard Organization

ITC – Infrared Training Center

MTBF – Mean Time Between Failures

RPM – Rotações Por Minuto

RMS – Root Mean Square

T&M – Test and Measurement

VT – VIBROTEST

VP – VIBROPORT

Índice

1 - Introdução	1
2 – O Controlo da Condição	3
2.1 – A Manutenção.....	3
2.1.1 – Manutenção Correctiva	4
2.1.2 – Manutenção Preventiva.....	4
2.1.2.1 – Manutenção Preventiva Sistemática	5
2.1.2.2 – Manutenção Preventiva Condicionada.....	5
2.2 – Controlo da Condição – o significado	7
2.3 – As várias técnicas e métodos	8
2.4 – O seu futuro	20
3 - A SPECMAN.....	23
3.1 - O seu posicionamento (global e financeiro)	23
3.2 - A sua missão e áreas de actividades	23
3.3 - Os representantes e as suas aplicações	24
3.4 - Área Comercial.....	26
3.5 - Serviços	30
3.6 – Formação	30
3.7 - A equipa	32
4 – Actividades desenvolvidas no âmbito do estágio	33
4.1 – Actividades realizadas	33
4.1.1 – Formação obtida ao longo do estágio	33
4.1.2 – Representação da empresa em reuniões internacionais de distribuidores	38
4.1.3 – Experiência como formador.....	41
4.1.4 – Experiência na prestação de Serviços	62
4.1.5 – Trabalhos pendentes	77
4.2 – Resultados obtidos e evolução	78
4.3 - "Benchmarking"	79
4.3.1 – Estudo do mercado na Análise de Vibrações.....	79
4.3.2 – Estudo do mercado na Termografia	84
5 - Reflexões e melhorias implementadas	87
6 - Conclusões	101
Referências Bibliográficas.....	103
Anexo A	105
Anexo B.....	107
Anexo C.....	109
Anexo D	111

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Exemplo de um software de monitorização on-line de uma máquina.....	6
Figura 2.2 – Exemplo de um técnico a realizar uma medição de vibrações a um Grupo Electrobomba.....	8
Figura 2.3 – Pirâmide ilustrativa das várias fases existentes na análise de vibrações.....	8
Figura 2.4 – Curva descritiva do tipo de medição conforme a aproximação à falha crítica.....	10
Figura 2.5 – Movimento harmónico simples.....	11
Figura 2.6 – Vibração característica de cada componente da máquina (fonte desconhecida).....	12
Figura 2.7 – Dominio no tempo e na frequência do sinal.....	12
Figura 2.8 – Sinal no domínio do tempo.....	12
Figura 2.9 – Sinal no domínio da frequência.....	13
Figura 2.10 – Exemplo de diagrama em cascata obtido com os dados em estudo.....	13
Figura 2.11 – Esquema comparativo entre temperatura e calor.....	14
Figura 2.12 – Espectro electromagnético (1: Raio X; 2: UV; 3: Visível; 4: Infravermelhos; 5: Microondas; 6: Ondas de Rádio).....	15
Figura 2.13 – Esquema descritivo dos tipos diferentes de radiação e formulas respectivas.....	16
Figura 2.14 – Duas imagens termográficas como exemplo (Carro e Motor Eléctrico).....	17
Figura 3.1 – Exemplos de produtos comercializados pela SPECMAN.....	24
Figura 3.2 – Logótipos das marcas comercializados pela SPECMAN.....	24
Figura 3.3 – Logótipo da Bruel & Kjaer e LDS.....	26
Figura 3.4 – Exemplos de produtos da B&K e da LDS.....	27
Figura 3.5 – Logótipo da B&K Vibro.....	27
Figura 3.6 – Exemplos da gama de produtos da B&K Vibro.....	28
Figura 3.7 – Imagem do software iLearnVibration e logótipo da Mobius Institute.....	28
Figura 3.8 – Gama de produtos e logótipo da FLIR Systems.....	29
Figura 3.9 – Exemplo do Certificado emitido ao candidato após a aprovação da certificação, respectivo cartão e logótipo associado para e-mails.....	31
Figura 3.10 – Logótipo do ITC.....	32
Figura 4.1 – Equipamentos que a SPECMAN tem para demonstração (VT-80 e FLIR E8).....	33
Figura 4.2 – Exemplo de um simulador interactivo da Mobius Institute.....	35
Figura 4.3 – Fotografia tirada durante a Conferência realizada em Paris.....	38
Figura 4.4 – Fotografia tirada durante a Conferência realizada em Madrid.....	40
Figura 4.5 – Fotografia tirada ao equipamento (VT-60) e ao Rotor onde se realizou a demonstração de uma tarefa de equilibragem.....	41
Figura 4.6 – Fotografia tirada ao equipamento (Type 4447) e à formação realizada no ISEL.....	43
Figura 4.7 – Os vários acessórios do equipamento de demonstração (Type 4447).....	45
Figura 4.8 – Exemplos de montagem dos acessórios de medição em vários tipos de equipamentos de trabalho.....	46
Figura 4.9 – Esquemas descritivos dos tipos de desalinhamentos existentes.....	48
Figura 4.10 – Espectro à esquerda característico de sintomas de desalinhamento e imagem termográfica característica dos sintomas de desalinhamento de um acoplamento.....	49

Figura 4.11 – Equipamento de alinhamento de veios por laser (VIBROLIGN 41).....	50
Figura 4.12 – Exemplo de montagem do equipamento de alinhamento por laser.....	51
Figura 4.13 – Equipamento demonstrado (VT-60) e simulador físico para tarefas de equilibragem.....	52
Figura 4.14 – Esquemas descritivos do tipo de desalinhamento estático.....	54
Figura 4.15 – Esquemas descritivos do tipo de desalinhamento binário.....	54
Figura 4.16 – Esquemas descritivos do tipo de desalinhamento dinâmico.....	55
Figura 4.17 – Exemplo de espectros que revelam sintomas de desequilíbrio.....	55
Figura 4.18 – Exemplo da diferença entre um material oxidado (a laranja) e polido (a roxo).....	58
Figura 4.19 – Imagens descritivas do funcionamento de uma câmara termográfica.....	60
Figura 4.20 – Exemplos de aplicações da área da Termografia.....	60
Figura 4.21 – Exemplos de avarias detectadas com a Termografia.....	61
Figura 4.22 – Esquema dos vários pontos de medição vibrométricos recolhidos numa máquina.....	64
Figura 4.23 – Esquema do circuito de vibração de um equipamento.....	65
Figura 4.24 – Equipamento utilizado para a colecção de dados vibrométricos das máquinas e fotografia exemplificativa das instalações fabris do cliente.....	69
Figura 4.25 – Fotografia do equipamento medido e localização dos seus pontos de medição.....	70
Figura 4.26 – Gráfico que mostra os valores dos níveis globais em cada ponto de medição.....	71
Figura 4.27 – Espectros obtidos no ponto de medição escolhido no equipamento.....	72
Figura 4.28 – Exemplos de defeitos encontrados em edifícios pela Termografia.....	73
Figura 4.29 – Exemplos de perdas de energia e fugas de ar encontradas em edifícios pela Termografia...	74
Figura 4.30 – Exemplos de defeitos de isolamento em coberturas de edifícios obtidas pela Termografia..	75
Figura 4.31 – Exemplo do que é obtido numa câmara termográfica (uma imagem real e uma imagem térmica do mesmo local).....	76
Figura 4.32 – Exemplo de um modelo de Câmara Termográfica da FLIR.....	76
Figura 4.33 – Logótipo da Vibration Institute.....	82
Figura 4.34 – Logótipo da Technical Associates of Charlotte.....	83
Figura 4.35 – Logótipo do instituto de certificação BINDT.....	83
Figura 4.36 – Logótipo do Infrasppection Institute.....	86
Figura 5.1 – Site da Empresa no LINKEDIN e exemplo de Roll-up da Mobius Institute.....	89
Figura 5.2 – Fotografia comparativa entre o site da empresa antigo (à esquerda) e o novo (à direita).....	92
Figura 5.3 – Exemplo dos gráficos obtidos com a análise CPB para detecção de avarias.....	93
Figura 5.4 – Exemplo de espectros obtidos no diagnóstico de avarias.....	93
Figura 5.5 – Gráfico de exemplo, de valores de níveis globais de vibração.....	95
Figura 5.6 – Gráfico de exemplo, de espectro de valores vibrométricos.....	97
Figura 5.7 – Gráfico de exemplo, de espectro CPB.....	98
Figura 5.8 – Esquemas ilustrativos das várias fases de detecção e diagnóstico de avarias em máquinas....	10

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Tabela comparativa com as técnicas mais utilizadas em Controlo da Condição.....	19
Tabela 4.1 – Tabela com os tipos de distúrbios e danos no corpo-humano causados pelas vibrações.....	44
Tabela 4.2 – Tabela com valores limite e de acção para os dois tipos de vibrações no corpo-humano.....	45
Tabela 4.3 – Tabela com as avarias mais comuns encontradas em espectros e descrição dos sintomas.....	65
Tabela 4.4 – Tabela com os valores de níveis globais de vibração, correspondentes à sua severidade por cores de aviso, de acordo com cada Classe de Equipamento (ISO 10816).....	68
Tabela 4.5 – Tabela com os critérios de prioridade adoptados e respectiva descrição (ISO 10816).....	69
Tabela 4.6 – Tabela com os valores de níveis globais de vibração, correspondentes à severidade da respectiva Classe de Equipamento escolhida e salientada (ISO 10816).....	71
Figura 4.7 – Tabela comparativa das várias marcas presentes na área da monitorização de vibrações.....	80
Figura 4.8 – Tabela comparativa das várias marcas presentes na área Termografia.....	84

1- Introdução

A realização deste Estágio Curricular, resultante da parceria do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa com a empresa SPECMAN, permitiu aplicar e aprofundar conhecimentos numa das áreas de grande interesse do curso de Engenharia Mecânica, o Controlo da Condição. Durante os nove meses de duração do estágio, para além de ser promovida a minha integração na empresa, foi também possível focar diferentes vertentes de aprendizagem e desenvolver determinadas competências nas áreas de actuação da empresa, nomeadamente, na área comercial, na área da formação, nos serviços realizados e no suporte técnico prestado. Procurou-se ainda seleccionar, pôr em evidência essa informação e demonstrar, as várias práticas desenvolvidas com o conhecimento teórico obtido na unidade curricular de Controlo da Condição. Além de todos estes objectivos e trabalhos, foram desenvolvidos alguns projectos de alteração, adaptação e melhoria de alguns meios e técnicas na relação da empresa com os clientes e na elaboração dos respectivos relatórios técnicos dos serviços prestados. Estas alterações passaram a estar integradas num contexto e visão global do funcionamento da empresa e dos seus objectivos centrais.

No Capítulo seguinte fazemos uma introdução à Manutenção e procuramos interligar o Controlo da Condição na mesma, expondo as suas técnicas e métodos com uma visão global, tentando perspectivar o seu futuro na indústria. Estão também incluídas as definições e as diferentes técnicas caracterizadoras deste tema para melhor se perceber o trabalho desenvolvido na empresa. No Capítulo 3, é feita uma análise à empresa descrevendo as suas várias áreas de actuação, os seus representantes e as suas principais áreas de negócio. No Capítulo 4, são apresentados os resultados do estágio realizado, demonstrando a relação dos conceitos teóricos com a sua aplicação prática. São descritas todas as actividades realizadas dentro da empresa e os projectos de melhoria efectuados, com vista ao correcto funcionamento da mesma. É também realizada uma análise comparativa ao sector e seus concorrentes. Nos capítulos finais deste relatório serão apresentadas as principais conclusões do trabalho, assim como algumas perspectivas futuras de desenvolvimento na empresa, que de algum modo este estágio contribuiu.

2 – O Controlo da Condição

2.1 – A Manutenção

O objectivo de qualquer indústria é produzir com vista ao lucro. Para isso há que combinar diversos factores. Os equipamentos e o seu correcto funcionamento são um dos mais importantes. Manutenção, segundo a norma portuguesa, é a combinação de todas as acções técnicas, administrativas e de gestão, durante um ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou a repô-lo num estado em que possa desempenhar a função [1].

O termo Manutenção teve a sua origem no vocabulário militar, cujo sentido era manter, nas unidades de combate, o efectivo e material num nível constante, passando a ser utilizado na indústria por volta do ano 1950, no início nos Estados Unidos da América e depois nos restantes países, sobrepondo-se na maioria dos casos à palavra “conservação”. Desde então a Manutenção registou uma grande evolução, deixando de ser uma actividade menor “subsidiária” da Produção e passando a ser um serviço autónomo dentro da empresa. O papel fundamental de um departamento de Manutenção é então o de manter os equipamentos de uma empresa a funcionar de modo adequado e eficaz à sua missão produtiva, com um custo mínimo.

Durante muitos anos, a filosofia tem sido, simplesmente, deixar as máquinas funcionar. Quando estas últimas avariavam, são reparadas ou substituídas. Pouco tempo é gasto no sentido de otimizar a disponibilidade dos equipamentos ou prognosticar avarias. Neste tipo de filosofia, o Departamento de Manutenção acumula custos, sendo os mesmos considerados como aceitáveis pela Administração. Mais recentemente, a filosofia de Manutenção alterou-se. As organizações de hoje em dia começam a reconhecer a necessidade de investimento em tempo e dinheiro no sentido de alterar as práticas de Manutenção, de modo a aumentar a disponibilidade dos seus equipamentos. No entanto, não se pode falar por si só numa “boa Manutenção”, é necessário adaptar um método de Manutenção específico para cada linha de fabrico, cada máquina/equipamento, cada subconjunto, que terá que obedecer a um compromisso técnico-económico de optimização, padronização e aperfeiçoamento.

Existem diferentes tipos de manutenção, no entanto, em qualquer unidade industrial os tipos de manutenção podem ser separados em duas formas básicas diferentes [1].

2.1.1 – Manutenção Correctiva

A Manutenção Correctiva tem como estratégia deixar a máquina funcionar até que haja uma falha. A manutenção correctiva é definida como sendo aquela que é efectuada depois da detecção de uma avaria e destinada a repor um equipamento num estado em que pode realizar uma função requerida [1].

Quando a máquina pára ou mesmo antes de parar é desenvolvida uma intervenção. Esta acção tem normalmente como objectivo substituir ou reparar alguns componentes que repõem o estado normal de funcionamento da máquina. A grande desvantagem deste tipo de manutenção prende-se com o facto de ser muito difícil ou quase impossível, preparar e planear o trabalho de manutenção. Quando este tipo de estratégia é aplicado numa unidade industrial é necessário que haja um grande número de peças de reserva. Não deve ser implementada uma estratégia de manutenção correctiva, se esta provocar danos humanos ou grandes custos, ou se colocar em risco um sistema crítico. Independentemente dos avanços na tecnologia, em qualquer unidade industrial existe sempre manutenção correctiva [2].

2.1.2 – Manutenção Preventiva

Ao contrário da Correctiva, a Manutenção Preventiva tem a intenção de reduzir a probabilidade de falha de um sistema ou a degradação do mesmo. Sendo que, todas as tarefas de manutenção são realizadas antes da ocorrência de uma previsível falha. Uma manutenção preventiva consiste numa intervenção que está prevista, preparada e programada, sendo esta efectuada antes da data provável do aparecimento da falha [3]. É a manutenção efectuada a intervalos de tempo pré-determinados, ou de acordo com critérios prescritos, com a finalidade de reduzir a probabilidade de avaria ou de degradação do funcionamento de um equipamento [1]. Neste tipo de manutenção, deve-se efectuar uma análise do histórico de avarias e posteriormente determinar que tipo de manutenção preventiva aplicar. Existem dois tipos de manutenção preventiva: a manutenção preventiva sistemática e manutenção preventiva condicionada [1]. São ambas actividades planeadas, sob o ponto de vista da gestão a diferença é que na sistemática o trabalho repete-se a períodos de tempo fixos pré-determinados, enquanto na condicionada actua-se apenas quando houver indícios de alguma anomalia [4].

A manutenção preventiva é bastante válida para determinados equipamentos e não tão desejável para outros, mas obrigatória nos que abrangem a segurança do pessoal da empresa. Quando utilizada na medida adequada onde predomina o bom senso, é mais segura e económica do que a intervenção aleatória, pelas seguintes razões: pela escolha ponderada do momento apropriado de intervenção; pelo seu custo; pela redução dos tempos de paragem nas instalações e por possibilitar a preparação do trabalho necessário a uma execução correcta. É indispensável avaliar, através de um estudo económico, em que medida é eficiente um equipamento suportar os encargos inerentes à manutenção preventiva. Quando utilizada em demasia, a manutenção preventiva torna-se tecnicamente mais prejudicial e tecnicamente mais cara do que a manutenção correctiva.

2.1.2.1 – Manutenção Preventiva Sistemática

É a manutenção preventiva efectuada a intervalos de tempo pré-estabelecidos ou segundo um número definido de unidades de utilização mas sem controlo prévio do estado do bem [1]. Este tipo de manutenção engloba as intervenções preventivas de carácter cíclico que se desencadeiam a intervalos de tempo regulares [3]. Temos como base um MTBF, ou seja um tempo médio entre falhas. Assim, com um MTBF bem determinado, as tarefas de manutenção são efectuadas apenas quando os componentes têm um tempo de vida certo. A grande desvantagem neste tipo de manutenção prende-se com o facto da necessidade de se determinar com precisão os intervalos de manutenção, através do indicador MTBF. Muitas vezes, a tarefa de manutenção pode ser executada muito cedo ou muito tarde. Em alguns casos repara-se ou substitui-se componentes ainda em bom estado. Em outros casos, a tarefa de manutenção não é executada a tempo, ocorrendo uma falha antes do previsto [2].

2.1.2.2 – Manutenção Preventiva Condicionada

É a manutenção preventiva baseada na vigilância do funcionamento do bem e/ou dos parâmetros significativos desse funcionamento, integrando as acções daí decorrentes [1]. Se ela funcionar bem não se intervém, só quando houver indícios de mau funcionamento ou aproximação de avaria. O sucesso da manutenção condicionada depende da eficácia dos recursos e da metodologia para vigiar o estado do equipamento [4].

Este tipo de manutenção requer que o equipamento seja regularmente monitorizado, com recurso a instrumentos de medida dos seus vários parâmetros (vibração, temperatura, amperagem, etc.), determinando a altura em que se deve efectuar a tarefa de manutenção. As tarefas de manutenção são desencadeadas quando o diagnóstico da condição assim o aconselha [3].

Este tipo de manutenção permite que os trabalhos sejam planeados de uma forma ordenada, sendo possível reduzir o número de peças de reserva em armazém. Em muitos casos pode até aumentar a capacidade de produção. As possíveis desvantagens prendem-se com o facto de ser normalmente necessário um investimento em instrumentação e em muitos casos ter técnicos especializados na análise dos valores medidos (por exemplo na análise de vibrações). É por isso necessário que o departamento de manutenção forneça os equipamentos necessários e que o pessoal envolvido tenha formação para poder interpretar e analisar correctamente os dados recolhidos. Por isso, muitas vezes, utilizamos o termo “Controlo da Condição” ou “Monitorização da Condição” para identificar esta metodologia de Manutenção inteligente e eficiente, que previne as paragens devido a avarias dos seus componentes e que está perfeitamente definida na norma britânica British Standard [5], que nos descreve a Monitorização da Condição como sendo: “A medida continua ou periódica e a interpretação de um acontecimento representativo para a determinação da necessidade de Manutenção”. No Capítulo seguinte iremos explicar mais em detalhe este termo e enumerar as várias técnicas envolvidas no seu processo. Na Figura 2.1 temos um exemplo de como a monitorização nos pode indicar todos os parâmetros de uma máquina em tempo real.

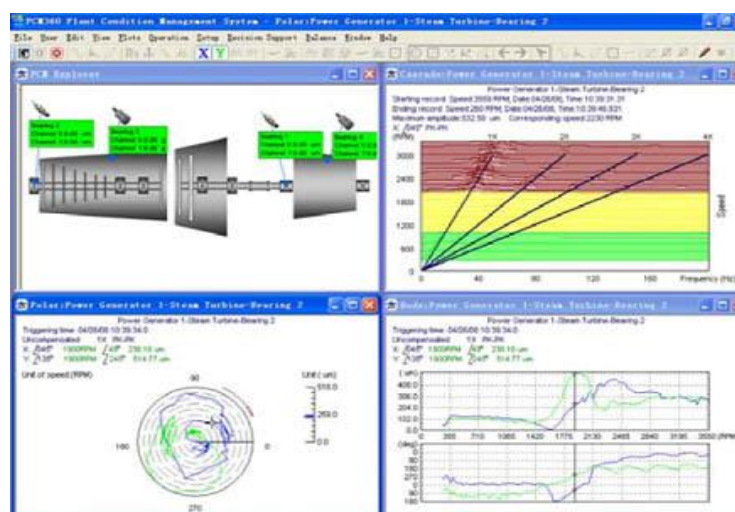


Figura 2.1 – Exemplo de um software de monitorização on-line de uma máquina.

2.2 – Controlo da Condição – o significado

O termo “Controlo da Condição” ou “Monitorização da Condição” é a arte de monitorizar a condição do equipamento, de modo a determinar se a saúde da máquina está estável ou está a deteriorar-se. As máquinas rotativas dão-nos vários sinais à medida que a sua condição e desempenho se deteriora, apenas temos de saber o que procurar. Apesar de ocorrerem falhas catastróficas inesperadas, em que uma máquina passa de disponível para indisponível num curto intervalo de tempo, na maioria dos casos é-nos dado um aviso prévio que a avaria está iminente. De facto, em muitos casos, são dados muitos sinais de aviso.

As máquinas rotativas são, em muito, semelhantes ao corpo humano. O modo como muitos departamentos de manutenção tratam das máquinas é em tudo similar ao modo como muitas pessoas tratam da sua própria saúde. Pegando nesta analogia, a monitorização da condição é simplesmente o processo de consulta médica (ex: check-up anual) e da realização dos meios auxiliares de diagnóstico (ex: consulta de especialidade). O médico analisa o nosso sangue, ausculta o nosso coração, mede a nossa pressão arterial, observa a nossa garganta, etc. No caso das máquinas rotativas, podemos verificar os lubrificantes, medir as vibrações, medir a corrente eléctrica dos motores, testar o fluxo e a pressão de descarga e medir a temperatura dos rolamentos. Quando concluimos todos os nossos testes, esperamos ter uma imagem clara do estado de saúde da máquina, conseguindo saber o que se passa no interior da mesma.

A Monitorização da Condição tem a ver com a determinação do estado e desempenho da máquina, pelo que devemos avaliar o custo económico *versus* risco de avaria, para além do essencial factor humano. É assim necessário avaliar cada máquina individualmente e adaptar o respectivo programa de monitorização de acordo com os requisitos da mesma. É necessário seleccionar as tecnologias de monitorização mais adequadas e a respectiva periodicidade de aplicação das mesmas, que pode ser alterada ao longo do tempo. Poderá significar a implementação de Manutenção Correctiva em algumas máquinas, uma vez que não se justifica economicamente a escolha da Manutenção Condicionada nas mesmas. No final, contudo, poderá ser necessário instalar sistemas de monitorização permanente nas máquinas mais críticas.

2.3 – As várias técnicas e métodos

A Monitorização da Condição adopta vários métodos de investigação para poder intervir nas máquinas e equipamentos. Obviamente, que dependendo do equipamento, algumas técnicas poderão ser ou não aplicadas. Vamos descreve-las de seguida.

Análise de Vibrações

A análise de vibrações tem vindo a ser usada desde há vários anos na indústria. Mas comecemos pelo seu princípio básico. Todas as máquinas rotativas, tais como bombas, ventiladores, turbinas e compressores, vibram. O nível e a forma das vibrações dão-nos informações sobre a condição interna dos seus componentes. Se fizermos recurso a equipamento electrónico para medir as vibrações, podemos monitorizar os seus níveis e analisar as suas formas (Figura 2.2). De um modo geral, se os níveis aumentarem e as formas se alterarem, não detectamos apenas a existência de um problema, mas, podemos diagnosticar qual o tipo de problema.



Figura 2.2 – Exemplo de um técnico a realizar uma medição de vibrações a um Grupo Electrobomba.

Uma das formas de separar estes dois termos é fazendo uma analogia com uma pirâmide (Figura 2.3). A forma da pirâmide representa o número de máquinas envolvidas em cada fase (e não a quantidade de tempo envolvido, importância ou aptidões necessárias).

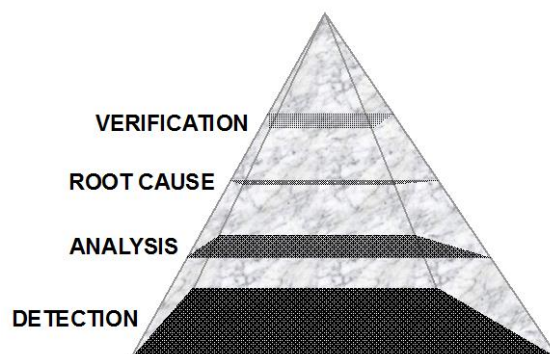


Figura 2.3 – Pirâmide ilustrativa das várias fases existentes na análise de vibrações

Na base da pirâmide encontra-se a fase da detecção. Nesta fase necessitamos de um método que percorra todos os dados em todas máquinas, de forma a determinar quais as máquinas que têm problemas e que mereçam uma investigação, devendo sempre tentar automatizar este processo. Depois aparece a fase da análise. Nesta fase a quantidade de máquinas envolvidas deverá ser muito menor. Devemos automatizar parte deste processo, de modo a termos uma indicação da natureza do problema. Contudo, será ainda necessário determinar a severidade desses mesmos problemas. Realizando, como parte da nossa rotina normal, uma análise aos dados recolhidos, vamos poder decidir que em muitas dessas máquinas não serão necessárias acções adicionais. No entanto, sobre as restantes máquinas irão ser necessárias análises adicionais e possivelmente serão também necessários testes adicionais, de modo a determinar exactamente qual a natureza do problema e permitir decidir que tipo de acções deverão ser realizadas. Chegamos então à fase do diagnóstico. Baseado na natureza do problema diagnosticado, bem como, da sua severidade, das alterações devidas às exigências da produção e filosofias de manutenção, as recomendações feitas poderão envolver a paragem da máquina para reparação. Neste momento encontramos-nos no topo da pirâmide com um grupo muito pequeno de máquinas. Neste grupo de máquinas, vamos necessitar de realizar a análise da origem da avaria, de modo a que o problema não apareça novamente. Para além disto, teremos sempre que verificar a correcta operação da máquina depois de esta ter sido colocada novamente em funcionamento. O nosso objecto é afastarmo-nos, o mais rápido possível, da base da pirâmide, de modo a que possamos despende mais tempo junto ao topo. Ao despende mais tempo no diagnóstico de avarias, a determinar maneiras de evitar que as mesmas ocorram no futuro e a verificar as reparações, estamos a dar grandes benefícios às nossas entidades empregadoras.

Esta é uma das técnicas mais importantes em Controlo da Condição, pois cerca de 85% de todas as avarias em máquinas rotativas conseguem ser detectadas e diagnosticadas pela análise das suas vibrações [6]. A partir destas informações poderemos planear a nossa manutenção de uma forma mais eficiente como descrito no gráfico da Figura 2.4. Existem vários tipos de avarias que podem ser detectadas. A forma da vibração pode indicar-nos se a máquina está desequilibrada ou desalinhada. A análise das vibrações pode também ajudar a diagnosticar uma avaria num rolamento ou numa chumaceira de atrito.

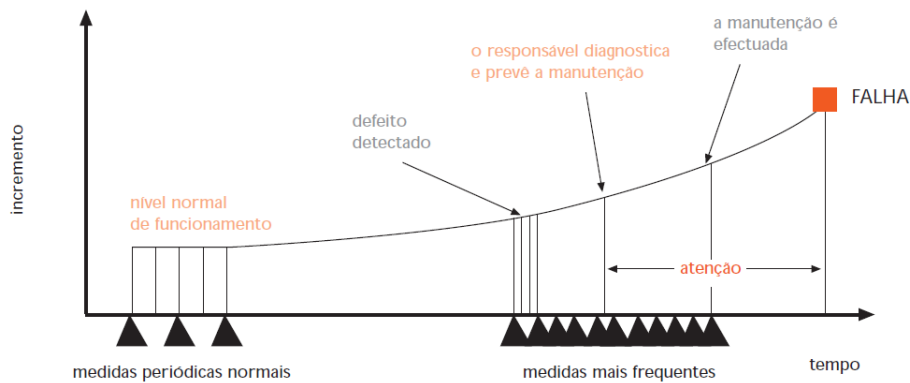


Figura 2.4 – Curva descritiva do tipo de medição conforme a aproximação à falha crítica.

Existem muitas avarias que podem ser detectadas e diagnosticadas: desapertos, “pata coxa”, avarias eléctricas, desgaste em correias, excentricidade em rotores, avarias em transmissões e acoplamentos, avarias em engrenagens, barras de rotores fracturadas, etc. O procedimento básico envolve a montagem de um transdutor numa chumaceira e a subsequente medição de vibrações com um colector de dados portátil. Normalmente, o Técnico consegue ver a medição de vibração efectuada junto à máquina, no entanto, o colector de dados é normalmente levado para o gabinete de modo a transferir os dados medidos para um computador onde poderão ser analisados num *software* dedicado. Se for uma máquina crítica ou se estiver localizada num local remoto ou num ambiente “hostil”, os transdutores são montados de forma permanente na máquina, assim como um sistema de monitorização de vibrações monitorizará os níveis de vibração e avisará em tempo útil aquando de condições de avaria. Existem também sistemas de protecção que monitorizam os níveis de vibração continuamente, podendo parar a máquina em caso de detecção de uma avaria crítica. Estes sistemas não são, na realidade, parte de um programa de monitorização da condição, pois são necessários por razões de segurança.

Mas vamos então perceber melhor o parâmetro medido pelo equipamento. A vibração consiste no movimento oscilatório em torno de uma posição em repouso. Manifesta-se sempre que ocorra uma força de excitação interna ou externa. A amplitude de vibração é função da intensidade da força de excitação, da massa e rigidez do sistema e do amortecimento do sistema. A vibração ocorre num equipamento rotativo sempre que o centro de massa não coincida com o centro de rotação. O modo mais simples de movimento vibratório é mostrado na Figura 2.5 [15].

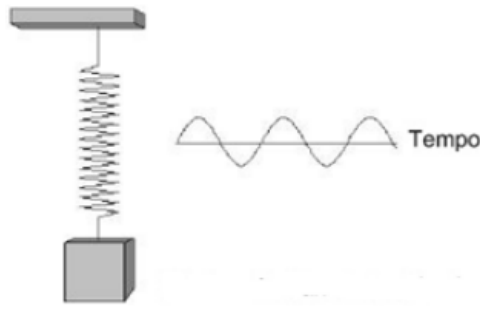


Figura 2.5 – Movimento harmónico simples.

Quando a massa é afastada da sua posição de equilíbrio e largada, o seu deslocamento, x , ao longo do tempo, t , com a frequência, f , é dado por,

$$x = A \sin(2\pi ft)$$

As vibrações podem também ser descritas em termos da velocidade e da aceleração de um ponto do corpo. A velocidade de um ponto da massa num dado instante t é dada por,

$$\frac{dx}{dt} = 2\pi f A \cos(2\pi ft)$$

E a aceleração por,

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -2\pi f A \sin(2\pi ft)$$

Num sistema mais aproximado da realidade não existe apenas uma frequência característica, mas uma frequência para cada componente rotativo da máquina. Nestas condições a forma de onda resultante não será uma sinusoidal e pode ser bem mais complexa (Figura 2.6).

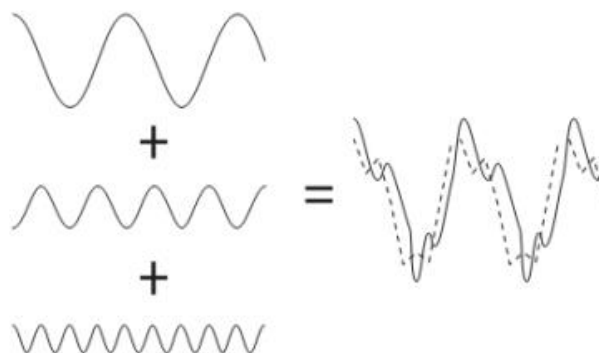


Figura 2.6 – Vibração característica de cada componente da máquina.

Esta representação dos fenómenos vibratórios, no domínio do tempo, especialmente quando as fontes de sinal são diversas, torna difícil a interpretação do que está a acontecer. Uma forma de facilitar a análise do sinal é passar do domínio do tempo para o domínio da frequência onde a amplitude da frequência característica de cada componente vai aparecer bem discriminada como vemos na Figura 2.7.

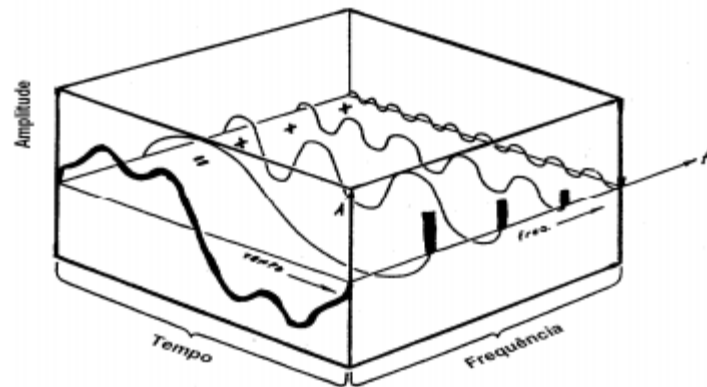


Figura 2.7 – Domínio no tempo e na frequência do sinal.

Então, para identificarmos um defeito em particular da máquina, temos de identificar a frequência característica desse defeito. Existem vários algoritmos para passar do domínio do tempo para o domínio da frequência. A mais comum nas vibrações é a transformada de Fourier (FFT) ou mais precisamente o algoritmo FFT, que calcula a transformada discreta num intervalo de tempo. Mostra-se nas figuras seguintes, exemplos do sinal em tempo e em frequência obtidos em máquinas reais, usando colectores de vibração.

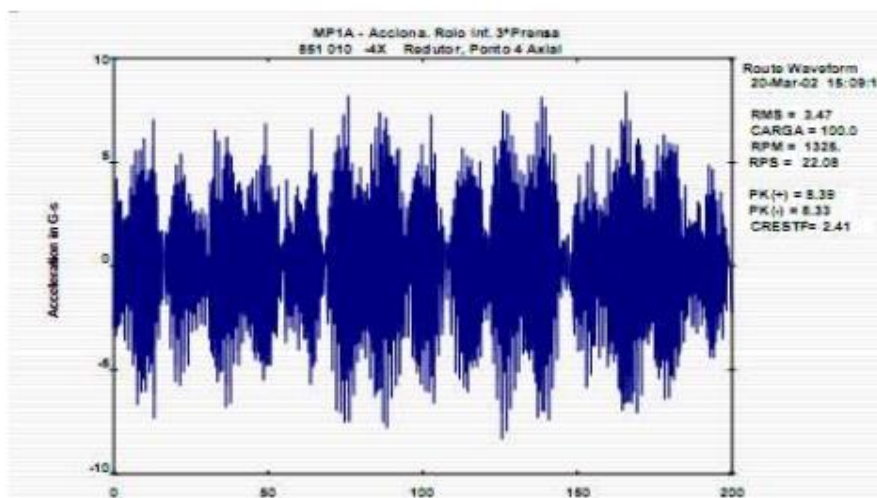


Figura 2.8 – Sinal no domínio do tempo

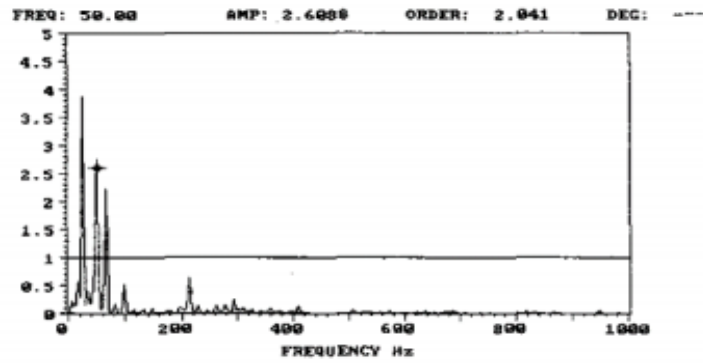


Figura 2.9 – Sinal no domínio da frequência.

Todas as causas de falha que foram mencionadas acima vão produzir um sinal com uma amplitude significativa na frequência característica do componente da máquina com defeito, permitindo desta forma a detecção e o diagnóstico de avarias. Outras visualizações no domínio da frequência podem ser de grande ajuda na detecção de um defeito em particular. Dentro destas técnicas especiais é possível destacar a análise de envelope, a análise espectral, a análise do “Cepstrum”, o método de “Spike Energy”, o método do “Shock Pulse”, os espectros em cascata (Figura 2.10) e entre outros [6].

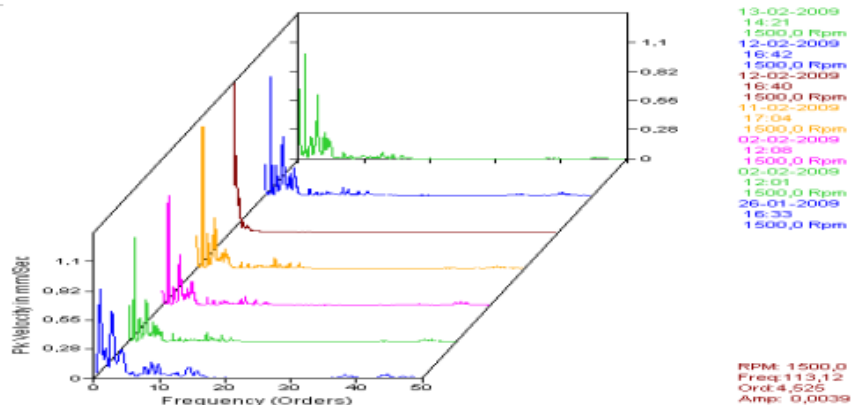


Figura 2.10 – Exemplo de diagrama em cascata obtido com os dados em estudo.

Todas estas actividades de análise e diagnóstico de avarias são altamente consumidoras de tempo e exigem a dedicação de um técnico experiente e qualificado. Existem vários organismos internacionais que criaram normas no sentido de simplificar a tarefa do analista de vibrações. No entanto a complexidade e variedade dos equipamentos tem evitado que se tenha atingido um padrão universal. Veremos depois ao longo deste relatório a aplicação destes conceitos teóricos com medições práticas no local e o tipo de diagnóstico que se consegue obter.

Termografia por Infravermelhos

A Termografia é uma outra técnica popular aplicada a máquinas rotativas e outras. É uma técnica de inspecção não destrutiva e não invasiva que tem como base a detecção da radiação infravermelha. Através desta técnica é possível identificar regiões, ou pontos, onde a temperatura se encontra alterada em relação a um padrão pré-estabelecido, permitindo assim a identificação e localização de alterações ou problemas na instalação. Na realidade quando se utiliza um equipamento de termografia para medir temperatura estamos a medir a intensidade de radiação electromagnética na banda dos infravermelhos. Mas para percebermos melhor que tipo de radiação é esta, convém sabermos distinguir os conceitos da temperatura e do calor.

Na maioria dos processos/actividades industriais o parâmetro de temperatura é muito importante, pois indica que algo estará em mau funcionamento ou próximo de uma avaria. Pegando no conceito básico de que qualquer objecto com temperatura superior ao zero absoluto ($-273,15^{\circ}$ Celsius = 0 Kelvin) emite radiação electromagnética (infravermelha), chegamos ao termo do “calor”. O calor é então uma forma de energia, é uma energia em trânsito. Já a Temperatura depende da energia cinética média das moléculas de um corpo, ou seja, a velocidade das moléculas irão corresponder a uma certa temperatura. Maior velocidade corresponderá a maior temperatura. Portanto a temperatura é uma propriedade do corpo, e o calor é o fluxo de energia entre dois corpos diferentes (Figura 2.11).

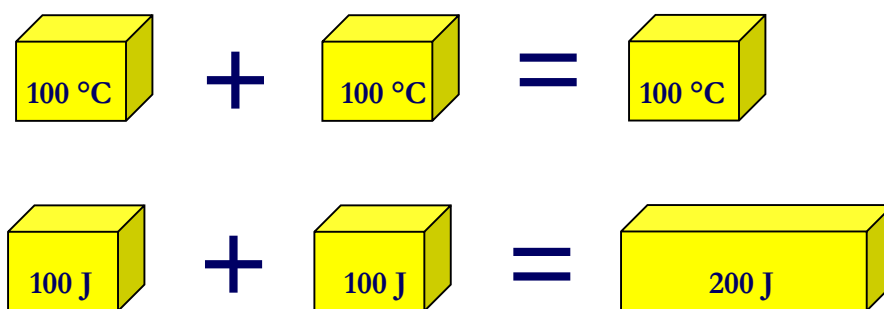


Figura 2.11 – Esquema comparativo entre temperatura e calor.

O fluxo de calor dá-se sempre do quente para o frio, pelo que a transferência de calor continuará até que os dois objectos se encontrem à mesma temperatura. Atingimos então o chamado equilíbrio térmico. O calor como forma de energia transmite-se dos corpos mais quentes para os corpos mais frios. Existem três modos de transferência de calor:

- Condução – A transferência de calor dá-se através ou entre objectos.
- Convecção – A transferência de calor dá-se entre um fluido e uma superfície sólida;
- Radiação – A transferência de calor dá-se através de ondas electromagnéticas, podendo ocorrer através da atmosfera ou do vácuo. É o único modo de transferência de calor detectado directamente pelo equipamento de infravermelhos.

A energia infravermelha é portanto a energia calorífica na forma de comprimentos de onda electromagnéticos (Figura 2.12). No espectro electromagnético esses comprimentos de onda são superiores ao da luz visível e são invisíveis ao olho humano. Os diferentes comprimentos de onda são percebidos pelo olho humano como diferentes cores. A luz visível é uma mistura de comprimentos de onda. Quando vemos algo azul é devido ao objecto ter a capacidade de reflectir mais da parte azul do espectro do que os outros comprimentos de onda. Os limites do olho humano encontram-se entre $0.4 \mu\text{m}$ (violeta) a $0.7 \mu\text{m}$ (encarnado), no meio encontram-se todas as outras cores tal como vimos no arco-íris. Por isso e devido à diferente gama de comprimentos, em Termografia, alguns objectos são “vistos” como opacos (ex: vidro), enquanto que noutra gama de radiação não o são (ex: radiação visível).

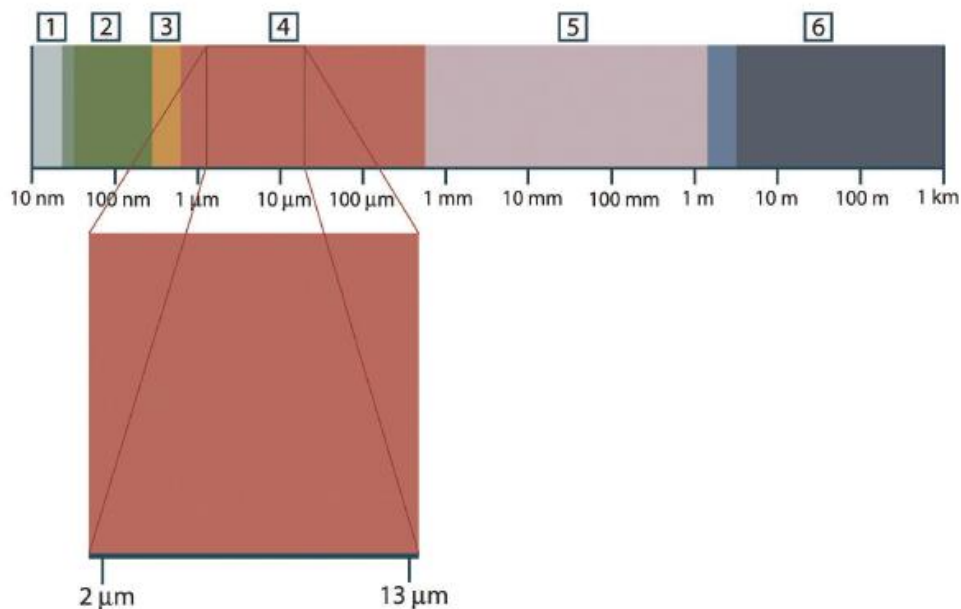


Figura 2.12 – Espectro electromagnético (1: Raio X; 2: UV; 3: Visível; 4: Infravermelhos; 5: Microondas; 6: Ondas de rádio)

A radiação infravermelha emitida por um objecto pode ser distribuída em três formas:

- Reflectida (ρ) – reflecte a radiação;
- Transmitida (τ) – permite a passagem de radiação;
- Emitida (ϵ) – radiação.

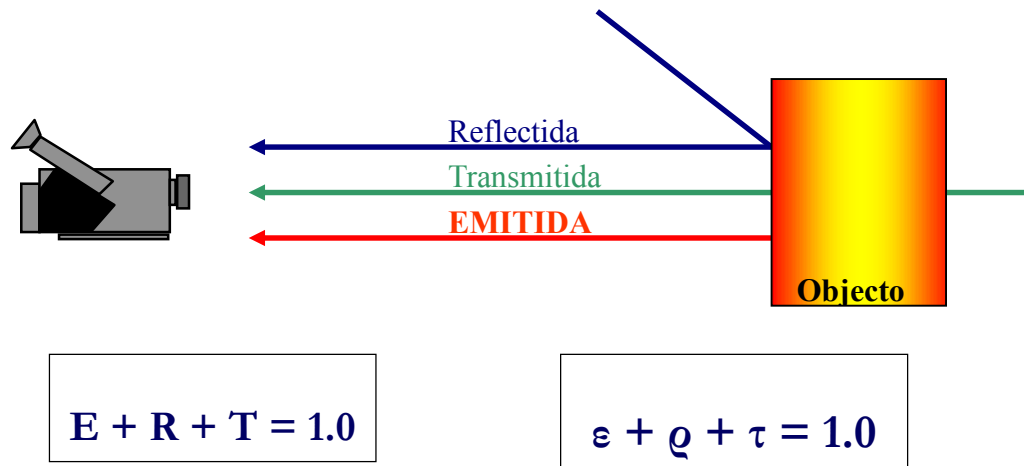


Figura 2.13 – Esquema descritivo dos tipos diferentes de radiação e fórmulas respectivas.

Como podemos verificar na Figura 2.13, uma câmara de infravermelhos mede e reproduz em imagens a radiação de infravermelhos emitida pelos objectos nestas três formas em conjunto. O facto de a radiação resultar da temperatura de superfície do objecto, possibilita que a câmara calcule e mostre essa temperatura. Os sistemas de termografia corrigem todos estes factores para proporcionar uma medição correcta da temperatura a partir de uns valores, denominados “parâmetros do objecto”, que devem ser introduzidos pelo utilizador. Estes parâmetros são: a emissividade, a temperatura ambiente reflectida, a distância, a humidade relativa e a temperatura atmosférica. [6]

Esta tecnologia está a ter uma grande evolução e aceitação na indústria, uma vez que, cada vez mais surgem novos equipamentos, mais leves (“portáteis”), com melhor tecnologia e com maior resolução. A comparação do termograma com uma fotografia do mesmo objecto é usada para a identificação dos pontos quentes. A comparação do termograma actual com o termograma de referência permite indicar a severidade dos problemas e a tendência do problema. Veremos depois ao longo deste relatório exemplos práticos de medições termográficas recolhidas no local.

Esta técnica tem variadas aplicações das quais se destacam:

- Sistemas Mecânicos e Eléctricos;
- Sistemas de Fluidos e Vapor;
- Controlo da Qualidade;
- Perdas de Energia (Edifícios, Fornos e Caldeiras);
- Vigilância e Segurança;
- Aplicações Médicas.

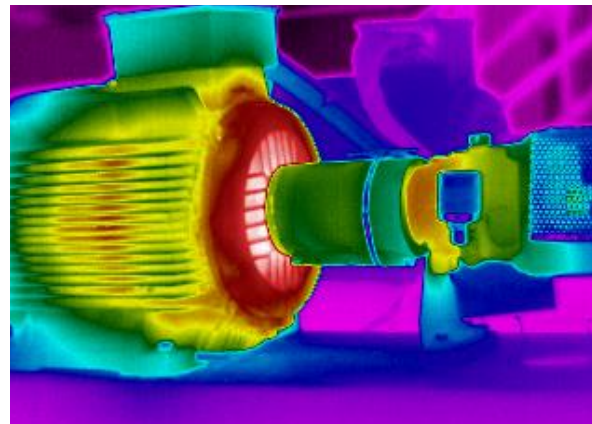


Figura 2.14 – Duas imagens termográficas como exemplo (Carro e Motor Eléctrico).

Análise de óleos de lubrificação

As máquinas rotativas necessitam de uma lubrificação correcta. No entanto, deparamo-nos muitas vezes com situações em que os lubrificantes apresentam propriedades que já não são adequadas para aquele tipo de equipamento, ou apresentam diversos contaminantes. O resultado é o aumento do desgaste e a ocorrência de avarias nas máquinas. Existe também o factor económico, pois os lubrificantes são caros tanto na sua aquisição como na sua remoção.

Uma análise a um lubrificante inclui a determinação de vários parâmetros físico-químicos e uma análise dos metais de desgaste [4]. Os ensaios físico-químicos efectuados variam consoante o tipo e aplicação do lubrificante havendo, no entanto, um conjunto de testes *standard* do qual fazem parte a viscosidade a 40°C, partículas insolúveis superiores a 5µ, presença de água, índice de acidez (T.A.N. – Total Acid Number e S.A.N. – Strong Acid Number) e produtos de oxidação [4].

Análise de partículas de desgaste

A análise ferrográfica de partículas de desgaste é uma tecnologia de análise da condição que é aplicada em máquinas com lubrificação. Fornece informação precisa da condição de componentes sujeitos a lubrificação, através da análise de partículas suspensas no lubrificante. Ao analisar a dimensão, concentração, forma e composição das partículas ou limalhas existentes em amostras de lubrificante, recolhidas sistematicamente, consegue-se identificar condições relacionadas com desgaste anormal num estágio inicial [6]. A análise de partículas de desgaste complementa a análise de vibrações, pois detecta problemas numa fase inicial, em alguns casos, e é menos susceptível às limitações impostas por máquinas rotativas de baixa velocidade de rotação e máquinas alternativas. Apesar de ser possível adquirir equipamento laboratorial, de modo a realizar as análises no local, a maior parte das empresas contrata serviços de laboratórios externos acreditados. As amostras de óleos têm, de qualquer modo, de ser recolhidas no local e de um modo controlado, sendo posteriormente enviadas para o laboratório contratado. A análise é baseada na forma da partícula, na sua composição, dimensão, distribuição e concentração. A partir desse resultado é então recomendado acções específicas de manutenção.

Inspecção Ultra-sónica

Esta técnica baseia-se na detecção de sons transmitidos através dos equipamentos ou estruturas. O sensor emite um sinal ultra-sónico e recebe o seu retorno (eco). Pelo tempo de propagação é possível calcular o espaço percorrido. Esta técnica pode ter duas aplicações distintas. Numa aplicação, destinada a detectar fugas em condutas, percorre-se com o sensor a conduta em busca de altas frequências características de passagens de fluídos através de uma passagem apertada, como seria o caso da fuga. Noutra aplicação, podemos detectar fracturas internas, problemas de fundição, etc.

Parâmetros processuais

É das técnicas mais antigas utilizadas. São obtidos os parâmetros necessários para o cálculo do rendimento do equipamento ou linha de produção de modo a proceder-se à verificação da sua boa operacionalidade. Medem-se os parâmetros de processo (temperatura, pressão, consumos, potência, etc.). Se variarem, temos de verificar, comparar e avaliar se existe uma avaria.

Inspecção visual

O exame visual constitui um auxiliar poderoso em todas as actividades industriais, tornando possível em muitos casos evitar acidentes cujas consequências podem ser altamente dispendiosas. Este método é tão antigo como os parâmetros processuais, e ainda é o método utilizado com mais frequência nas técnicas de inspecção e manutenção. Este permite-nos identificar fugas, fissuras, lascas, distorções físicas e geométricas, etc..

Outras técnicas

Outras técnicas de ensaios não destrutivos, com aplicações mais restritas, podem ser utilizadas para detectar em tempo útil o estágio inicial de uma avaria numa máquina ou numa estrutura. São utilizadas com este fim, nomeadamente, as inspecções radiográficas, as emissões acústicas, os líquidos penetrantes, as correntes residuais ("eddy-currents"), as partículas magnéticas e a espectrografia. Na Tabela 2.1 podemos ver comparativamente as vantagens e desvantagens das técnicas mais utilizadas.

Defeito / Técnica	Análise de vibrações	Termografia	Análise de óleos	Análise acústica	Visualização com estroboscópio
Desequilíbrio	√	•	•	•	•
Desalinhamento	√	◇	•	•	•
Empeno de veio	√	•	•	•	•
Desaperto	√	•	•	•	◇
Ressonância	√	•	•	•	•
Defeito em rolamento	√	◇	◇	◇	◇
Cavitação	√	•	•	◇	•
Defeito em m. eléctrico	√	◇	•	•	•
Defeito em engrenagem	√	•	◇	◇	◇
Defeito em transmissão	√	◇	•	•	◇

Legenda: √ Prática de monitorização de condição adequada à detecção do defeito

◇ Prática de monitorização de condição parcialmente adequada à detecção do defeito

• Prática de monitorização de condição não adequada à detecção do defeito

Tabela 2.1 – Tabela comparativa com as técnicas mais utilizadas em Controlo da Condição.

Quando um programa de Manutenção Condicionada pretende implementar algumas destas técnicas enunciadas em cima, é necessário cuidado, pois o uso de técnicas erradas ou de forma errada pode levar a que o programa de manutenção falhe. Vemos em cima um quadro comparativo com as técnicas mais utilizadas e a sua adequabilidade na detecção de avarias. Podemos verificar a importância da análise de vibrações como meio de diagnóstico, mostrando a versatilidade desta ferramenta em comparação com outras.

Obviamente que a falta de treino do pessoal poderá também levar a más interpretações das medições. É importante também ter em atenção o tipo de equipamento e indústria onde se está inserido [2].

2.4 – O seu futuro

O futuro do Controlo da Condição passa pela estreita integração entre tecnologias e sistemas, integração continuada entre a monitorização da condição e a monitorização de processos, aumento da utilização de sistemas de diagnóstico automatizados e sistemas de monitorização permanentes, com ênfase na informação baseada em dados através da Internet e de Dados Móveis. Este facto torna-se bastante importante quando temos um sistema de monitorização permanente automatizado, capaz de detectar problemas e, em alguns casos, de os diagnosticar, e quando a manutenção e a produção, localizadas remotamente, estão envolvidas, então a comunicação torna-se num factor essencial. A maioria dos sistemas são actualmente capazes de gerar *e-mails*, e alguns conseguem mesmo gerar *websites*, permitindo aos utilizadores acederem a uma vasta quantidade de informação com recurso a apenas um simples *browser*.

A maior parte dos fornecedores de sistemas de referência possibilitam o manuseamento de dados provenientes de diversas tecnologias. Curvas de tendência de contagens de partículas podem ser comparados no mesmo gráfico com a temperatura de rolamentos e os níveis de vibração, constituindo uma importante evolução nestes últimos anos. Contudo, continua a haver uma limitada troca de informação entre sistemas concorrentes. Vimos que não se consegue obter uma imagem global a partir de uma única tecnologia. Assim, os Analistas e Técnicos necessitam de se tornar “multifacetados” e não apenas, especialistas numa única tecnologia.

Nos últimos anos, as maiores empresas na Indústria, começaram a prestar atenção ao mundo da Manutenção e, em especial, à monitorização da condição. Reconheceram o impacto que pode ser efectuado nos lucros de uma organização através da monitorização melhorada, da gestão de informação e diagnóstico, e movimentações foram feitas para entrarem neste mercado. O resultado foi a aquisição das várias empresas líderes no mercado em análise de vibrações.

Em parte, devido ao envolvimento das empresas de monitorização de processos e à tendência de crescimento da subcontratação da manutenção, os sistemas de monitorização permanente têm-se tornado mais poderosos e a sua popularidade tem vindo a aumentar, assim como a importância dos sistemas de diagnóstico automatizado.

Os sistemas de monitorização permanente podem ser instalados em locais remotos de modo a monitorizar equipamentos e os relatórios de medição podem ser enviados directamente para o departamento central de engenharia. No limite, os sistemas podem ser instalados directamente em elementos específicos dos equipamentos, de modo a reportar directamente ao fornecedor da manutenção (em várias plataformas móveis como telemóvel ou Tablet) ou ao fabricante do equipamento, no âmbito da garantia contratada. O resultado é o aumento da sofisticação dos sistemas permanentes e a redução do seu custo, com o benefício da integração das novas tecnologias já existentes no mercado.

Na parte da cadeia de monitorização, poderemos também assistir a desenvolvimentos interessantes no futuro, com o fabrico de cada vez mais e melhores sensores de elevada sensibilidade, tamanho reduzido e baixo custo, em conjunto com avanços tecnológicos de topo (como por exemplo a inclusão da tecnologia *wireless*). Será também possível no futuro medir-se ainda mais parâmetros e utilizar diferentes algoritmos de cálculo e modos de visualização de dados.

Por tudo isto podemos prever um futuro turbulento para a área do Controlo da Condição, com um nível de evolução tecnológico extraordinário e com a mudança na mentalidade das filosofias de Manutenção por parte da Indústria. Necessita de empenho da administração, formação adequada e um elevado nível de dedicação para se atingir os objectivos pretendidos.

3 - A SPECMAN

3.1 - O seu posicionamento (global e financeiro)

A SPECMAN, Engenharia, Diagnóstico e Manutenção, Lda. é uma empresa inovadora, dinâmica e especializada que aposta no fornecimento de soluções de engenharia, equipamentos e serviços de elevada qualidade. O nome da empresa foi construído com base na junção das palavras “espectro” e “manutenção”, resultando numa palavra sofisticada, internacional e que fica no ouvido dos clientes. A empresa situa-se em Lisboa, na zona do Saldanha e o seu actual gerente é o Engenheiro João de Matos, também mentor do meu estágio. A empresa foi fundada por um ex-sócio da empresa, o Engenheiro João Pais em 2004. Desde então tem sofrido algumas “actualizações”, nomeadamente na escolha dos produtos a distribuir e na entrada da área da formação técnica certificada. No ano 2012 o Engenheiro João de Matos, um dos sócios na altura, adquiriu a restante parte da sociedade e ficou totalmente encarregue da empresa desde então.

A empresa possui alguns concorrentes nas suas áreas de negócio, que no Capítulo do “Benchmarking” analisaremos com mais detalhe, no entanto pode-se orgulhar em ser distribuidora exclusiva de produtos altamente especializados e técnicos, quer ao nível de formação técnica, quer ao nível de equipamento para monitorização de vibrações. É uma empresa com uma dimensão socioeconómica pequena – com um capital social no valor de 15.000,00 € -, mas que possui um elevado volume de negócios e um vasto leque de clientes, alguns com vários anos de parceria conjunta. Não sendo uma empresa grande e devido aos contractos de distribuição, o seu mercado de comercialização encontra-se cingido a Portugal Continental e Ilhas.

3.2 - A sua missão e áreas de actividades

A SPECMAN, Lda. fornece soluções equipamentos, serviços e formação técnica para aplicações em acústica, vibrações, termografia, monitorização da condição e medição eléctrica de grandezas mecânicas. A sua principal missão e objectivo é fornecer soluções de engenharia aos seus clientes, trabalhando em conjunto na resolução dos seus problemas e procurando constantemente as melhores soluções, tornando-as mais eficazes, simples e económicas.

As principais áreas de actividade da empresa são as seguintes:

- Acústica de edifícios;
- Acústica ambiental;
- Acústica ocupacional;
- Vibrações no corpo humano;
- Vibrações em edifícios e estruturas;
- Certificação de máquinas;
- Monitorização da condição de máquinas rotativas e recíprocas;
- Equilibragem e alinhamento de máquinas rotativas;
- Manutenção de edifícios e instalações industriais;
- Consultoria;
- Controle de qualidade na indústria;
- Formação técnica.



Figura 3.1 – Exemplos de produtos comercializados pela SPECMAN.

3.3 - Os representantes e as suas aplicações

A empresa é distribuidora de diversos fabricantes de equipamentos e possui uma vasta oferta de formação certificada, sendo então:

- Distribuidor exclusivo da Brüel & Kjær S&V;
- Distribuidor exclusivo da Brüel & Kjær Vibro;
- Distribuidor exclusivo do MOBIUS INSTITUTE;
- Distribuidor da FLIR;
- Distribuidor exclusivo da S2 TECH;
- Distribuidor da ALLURIS;
- Distribuidor exclusivo da Seiffert Industrial;
- Distribuidor exclusivo da SoftNoise.



Figura 3.2 – Logótipos das marcas comercializados pela SPECMAN.

As áreas de aplicação dos seus produtos encontram-se subdivididas em vários grupos, sendo descritos de seguida:

Acústica

- Acústica de Edifícios;
- Acústica Ambiental;
- Acústica Ocupacional;
- Intensimetria Acústica;
- Medição de Potência Sonora;
- Qualidade Sonora;
- Holografia Acústica;
- Identificação de Fontes Sonoras;
- Testes de *Pass-by*;
- Testes Electroacústicos;
- Calibração de Microfones, Sonómetros, Dosímetros de Ruído, Filtros de Oitava, Calibradores Acústicos e Audiómetros.

Vibrações

- Testes de Vibrações;
- Vibrações em Máquinas;
- Vibrações no Corpo Humano;
- Vibrações Ambientais;
- Vibrações em Edifícios;
- Vibrações Estruturais;
- Calibração de Acelerómetros e Analisadores de Vibração.

Termografia

- Termografia em Edifícios;
- Termografia em Sistemas Eléctricos;
- Termografia em Sistemas Mecânicos;
- Termografia em Sistemas de Fluidos.

Higiene e Segurança no Trabalho

- Acústica Ocupacional
- Vibrações no Corpo Humano

Monitorização da Condição em Máquinas

- Monitorização de Vibrações;
- Equilibragem no Local de Rotores;
- Alinhamento no Local de Polias e Rolos;
- Termografia de Sistemas Eléctricos e Mecânicos.

Medição eléctrica de grandezas mecânicas

- Medição de Força
- Medição de Pressão
- Medição de Deslocamento
- Medição de Nível
- Medição de Inclinação
- Medição de Velocidade de Rotação
- Medição de Espessuras de Revestimentos

3.4 - Área Comercial

Vamos agora analisar mais em detalhe a área comercial da empresa, descrevendo os seus principais produtos e marcas comercializadas, e as suas aplicações práticas no negócio da empresa. Vamos apenas focar-nos nas quatro marcas que maior *income* financeiro dão à empresa, descrevendo sucintamente cada uma delas:

Brüel & Kjær S&V

A Brüel & Kjær S&V, empresa dinamarquesa, é o líder mundial na produção de equipamentos para acústica e vibrações. A Brüel & Kjær S&V integra a LDS, subdivisão na área dos “shakers” para a indústria. Possuem mais de 70 anos de experiência na área, sendo uma marca muito respeitada mundialmente no mundo da acústica e dos sensores, pela fiabilidade dos seus equipamentos/produtos e pela constante inovação tecnológica.

Figura 3.3 – Logótipo da Bruel & Kjaer e LDS.



Aplicações:

- Acústica ocupacional, ambiental e de edifícios;
- Acústica de salas e qualidade sonora;
- Medição de intensidade e potência sonora;
- Vibrações no corpo humano, em edifícios e estruturais;
- Teste de vibrações e de materiais;
- Áudio e telecomunicações.



Gama de equipamentos:

- Sonómetros integradores/analísadores de ruído;
- Dosímetros de ruído;
- Sistemas de monitorização de ruído;
- Fontes sonoras;
- Analísadores de ruído & vibrações;
- Sistemas de calibração;
- Excitadores de vibração e acessórios;
- Sensores e acessórios.



Figura 3.4 – Exemplos de produtos da B&K e da LDS.

Brüel & Kjær Vibro

A Brüel & Kjær Vibro, fabricante com origem na aliança estratégica entre a Brüel & Kjær CMS (Dinamarca) e a Schenck Vibro (Alemanha), e é o líder europeu na comercialização de sistemas de monitorização da condição. Possuem mais de 70 anos de experiência na área de diagnóstico de avarias em máquinas rotativas, sendo pioneiros em algumas tecnologias de classe mundial. As suas aplicações são:

- Monitorização de vibrações e outros parâmetros processuais em manutenção condicionada;
- Protecção de máquinas pela monitorização de vibrações;
- Detecção e diagnóstico de avarias em máquinas pela medição & análise de vibrações;
- Equilibragem no local de máquinas rotativas.

Figura 3.5 – Logótipo da B&K Vibro.



Brüel & Kjær Vibro

Gama de equipamentos:

- Sensores de vibração – acelerómetros industriais, transdutores de velocidade e sensores de proximidade;
- Colectores de dados/medidores & analisadores de vibração;
- Equipamento portátil de equilibragem no local de máquinas rotativas;
- Sistemas de protecção permanente de máquinas;
- Sistemas de monitorização da condição e diagnóstico permanente de máquinas;
- Software de monitorização da condição.



Figura 3.6 – Exemplos da gama de produtos da B&K Vibro.

Mobius Institute

O Mobius Institute, empresa australiana, é uma referência mundial na formação com certificação internacional de análise de vibrações em máquinas, e possui *software* inteiramente dedicado para o ensino de análise e diagnóstico de vibrações em máquinas e suas respectivas técnicas de correcção, quer de desalinhamentos ou desequilíbrios.

Aplicações:

- Formação com certificação internacional de análise de vibrações em máquinas;
- Análise e diagnóstico de espectros em frequência de vibrações em máquinas;
- Formação em equilibragem no local de rotores;
- Formação em alinhamento de veios no local.



Gama de *softwares*:

- iLearnVibration (Standard/ Professional/Interpreter);
- iVibe;
- iLearnAlignment;
- iLearnBalancing;
- iLearnReliability.

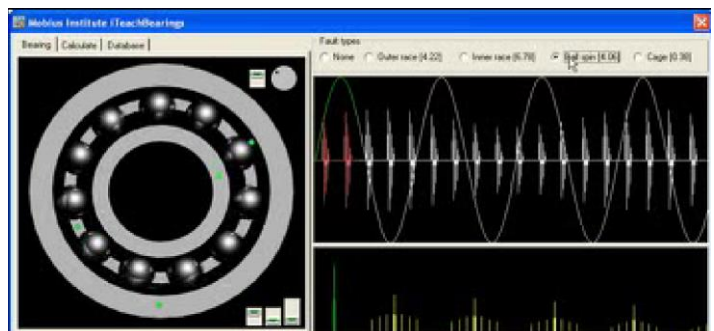


Figura 3.7 – Imagem do software iLearnVibration e logótipo da Mobius Institute.

FLIR

A FLIR Systems, originalmente uma empresa sueca, tem sede nos Estados Unidos da América e é o líder mundial na comercialização de soluções para medição e análise termográfica. Foi fundada em 1978 e tem duas divisões distintas de negócio, a área comercial e a área governamental. A SPECMAN não possui autorização para vender a área governamental da FLIR, uma vez que este tipo de equipamentos se destinam a equipas de salvamento, patrulhamento e segurança privada. Tendo apenas a parte comercial da FLIR, a mesma divide-se em duas áreas de aplicação, a área da Termografia de Edifícios, com equipamentos específicos, e a área da Termografia Industrial, indicada para equipamentos mecânicos e eléctricos. Mais recentemente a marca apostou na comercialização de equipamentos para Teste e Medição, tais como Video-endoscópios, Pinças Amperimétricas e Termo-higrómetros com ligação comuta às suas Câmaras Termográficas. É uma empresa muito dinâmica e que aposta em novas tecnologias para desenvolver a área da Termografia. Recentemente assinou um contrato com a equipa de Formula 1 da RedBull para análise do desgaste dos pneumáticos dos carros através da análise termográfica. O objectivo futuro da empresa é tornar esta tecnologia acessível a todos, para que a possamos usar no nosso dia-a-dia e aproveitar todas as suas potencialidades, e quem sabe até ser mais utilizada na área da Medicina.

Aplicações:

- Controlo e detecção de anomalias em equipamentos eléctricos;
- Controlo e detecção de anomalias em equipamentos mecânicos;
- Controlo e detecção de anomalias em edifícios;
- Controlo e detecção de anomalias em sistemas de fluidos e vapor;
- Vigilância e segurança;
- Meios complementares de diagnóstico em medicina e veterinária.

Gama de equipamentos:

- Câmaras termográficas de infravermelhos portáteis;
- Câmaras termográficas de infravermelhos permanentes;
- Equipamentos para Teste & Medição;
- Software;



Figura 3.8 – Gama de produtos e logótipo da FLIR Systems.

3.5 - Serviços

A SPECMAN presta serviços de engenharia, realizados por engenheiros especialistas com certificação internacional, nas seguintes áreas:

Vibrações em Máquinas:

- Detecção e diagnóstico de avarias em máquinas;
- Recepção de máquinas novas e comissionadas pela medição & análise de vibrações;
- Organização & implementação de sistemas de monitorização da condição;
- Contractos de monitorização da condição de máquinas;
- Monitorização remota da condição de máquinas;
- Auditorias a sistemas de monitorização da condição;
- Equilibragem no local de rotores;
- Alinhamento de veios e polias no local;
- Verificação no local de empeno de veios;
- Medição de vibrações torsionais;
- Isolamento de vibrações.

Termografia:

- Análise termográfica de equipamentos eléctricos;
- Análise termográfica de equipamentos mecânicos;
- Análise termográfica de edifícios.

3.6 – Formação

A empresa realiza vários cursos técnicos, de acordo com a necessidade dos clientes:

- Acústica de Edifícios – 2 Dias;
- Acústica Ambiental – 2 Dias;
- Acústica Ocupacional – 2 Dias;
- Vibrações no Corpo Humano – 2 Dias;
- Vibrações em Edifícios – 2 Dias;
- Equilibragem no Local de Rotores – 1 Dia;
- Introdução à Medição & Análise Termográfica na Indústria – ½ Dia;
- Introdução à Medição & Análise Termográfica em Edifícios - ½ Dia.

A SPECMAN é representante exclusiva, no nosso país, do prestigiado Mobius Institute da Austrália. Os cursos técnicos encontram-se divididos em várias categorias:

- Técnico de Vibrações - Categoria I (4 Dias + Exame opcional)
- Analista de Vibrações - Categoria II (4 Dias + Exame opcional)
- Especialista de Vibrações - Categoria III (4 Dias + Exame opcional) - (Requere certificação internacional de Categoria II)
- Mestre de Vibrações - Categoria IV (8 Dias + Exame opcional) - (Requere certificação internacional de Categoria III)

Os cursos técnicos do Mobius Institute são certificados pela entidade externa independente MIBoC - Mobius Institute Board of Certification de acordo com a ISO 17024 [10]. O curso está de acordo com a norma internacional ISO 18436-2 [11] e a prática recomendada SNT-TC-1A da ASNT (*American Society for Non-destructive Testing*), pelo que possibilita a obtenção de Certificação Internacional do participante. Os cursos são ministrados em Português, fazendo recurso de apresentações estado-da-arte, baseadas em animações e simuladores por *software*, tornando a aprendizagem fácil, intuitiva e extremamente eficaz. Os cursos do Mobius Institute receberam inúmeros prémios ao longo dos últimos anos e são considerados por muitos, os líderes na área da Formação em Vibrações em Máquinas. Possuem ainda vários programas informáticos com simuladores, que ajudam a formar equipas e técnicos de uma empresa nas suas áreas de interesse, por exemplo, alinhamento de veios ou equilibragem dinâmicas. Após aprovação no exame, é fornecido um Certificado de Aproveitamento, um Cartão Pessoal e um Logo emitidos pelo MIBoC (Figura 3.9), válidos durante 5 anos e automaticamente renováveis através de comprovação da experiência na área.

Figura 3.9 – Exemplo do Certificado emitido ao candidato após a aprovação da certificação, o respectivo cartão e logótipo associado para e-mails.



A SPECMAN é também distribuidora no nosso país do prestigiado ITC - Infrared Training Center. O ITC é uma empresa subsidiária da marca FLIR Systems, da fabricante de Câmaras Termográficas. Os cursos técnicos incluem um exame para Certificação Internacional de acordo com a ISO 9712: 2012 "Non-destructive testing - Qualification and certification of NDT personnel" [12]. Os cursos estão divididos em três níveis:

- Termografia Nivel 1 (4 Dias + Exame);
- Termografia Nivel 2 (4 Dias + Exame);
- Termografia Nivel 3 (4 Dias + Exame).



Figura 3.10 – Logótipo do ITC.

3.7 - A equipa

A equipa da SPECMAN apesar de pequena em dimensão, possui elevada qualidade e autonomia de funções. É esperado que até ao final do ano a empresa venha a inscrever mais recursos humanos nos seus quadros, para além da minha integração total de funções na empresa.

Começamos pelo Eng. João António Matos, gerente e director de vendas da empresa desde 2006 da SPECMAN, possui vários anos de experiência na área do ruído e vibrações e é licenciado em Engenharia Mecânica pelo IST (Instituto Superior Técnico de Lisboa), Antes de integrar a empresa trabalhou na “B&K Sound & Vibration” durante 8 anos e na “B&K Vibro” em França durante 3 anos. Possui grande experiência e vocação comercial, para além de um elevado conhecimento técnico em equipamentos, ministrando várias formações ao longo dos anos, e tendo certificação internacional de categoria II pelo Mobius Institute (Analista de Vibrações).

O nosso formador dos cursos da Mobius Institute tem grande renome na área das vibrações e, por coincidência, foi o fundador e sócio da empresa SPECMAN. Falamos então do Eng. João Pedro Pais, que é licenciado em Engenharia de Máquinas Marítimas pela ENIDH (Escola Náutica Infante D. Henrique), mestre de vibrações com certificação internacional de categoria IV pelo MIBoC, membro da comissão técnica do MIBoC, termógrafo com certificação internacional de nível I pelo Infrasppection Institute e possui 20 anos de experiência prática em monitorização e diagnóstico de vibrações em máquinas.

4 – Actividades desenvolvidas no âmbito do estágio

4.1 – Actividades realizadas

Algumas das actividades efectuadas ao longo do estágio vão ser descritas de seguida. Em cada actividade vai-se procurar explicar em detalhe os procedimentos efectuados e obter uma correlação prática com os conceitos teóricos aprendidos no Mestrado de Engenharia Mecânica, fazendo um resumo dos mesmos. Não se vai referenciar nomes de empresas e pessoas, uma vez que isso viola os direitos de autor e de confidencialidade comercial das empresas, sendo que o objectivo primário deste capítulo é descrever as actividades realizadas em si e não o local de interesse.

4.1.1 – Formação obtida ao longo do estágio

Para proceder a uma melhor integração na empresa e nos procedimentos gerais de funcionamento da mesma, investiu-se em formação técnica e comercial de várias formas ao longo de várias fases do estágio, nomeadamente:

- Formação inicial: gama de produtos e serviços que a empresa comercializa, os seus concorrentes e pontos fortes/fracos em relação a eles;
- Formação comercial e de vendas: procedimentos de venda, formas de comunicação com os clientes, passos para elaboração de propostas até à adjudicação da mesma e técnicas de negociação a efectuar com os clientes para ganhar negócios;
- Frequência de webinars da B&K Vibro: sobre várias técnicas de análise e diagnóstico de avarias e assuntos relacionados com a área de monitorização de vibrações;

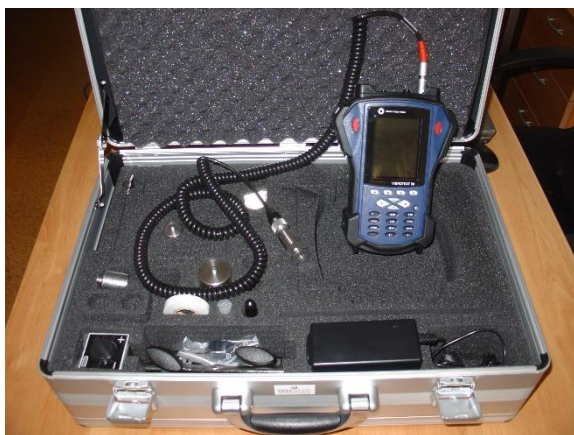


Figura 4.1 – Equipamentos que a SPECMAN tem para demonstração (VT-80 e FLIR E8).

- Formação em equipamentos (Figura 4.1): estudo exaustivo, como por exemplo leitura de manuais e seu manuseio, dos equipamentos de demonstração que a empresa tem (VT-80 e FLIR E8), para melhor entender o seu funcionamento e saber transmitir essa informação a potenciais compradores.

Curso de Análise de Vibrações (Mobius Institute)

Para melhorar os conhecimentos práticos em Medição & Análise de Vibrações, a empresa investiu em formação técnica, para realizar o trabalho de uma forma mais eficaz e com melhores conhecimentos. Aproveitou-se o facto de se realizar um curso de Categoria II (Analista de Vibrações) em Lisboa, para obter certificação e formação nesta área. O curso, e depois de realizado o exame final, está de acordo com a norma internacional ISO 18436-2 e a prática recomendada SNT-TC-1A da ASNT, que permite a obtenção de certificação internacional.

Embora a tecnologia esteja a evoluir, e os equipamentos/software cada vez mais sofisticados, a formação técnica das equipas de manutenção torna-se essencial. Existe geralmente uma falta de conhecimento e confiança na previsão de falhas em máquinas. Muitos cursos de formação não proporcionam um nível aprofundado de compreensão nem desenvolvem uma forma analítica de pensar, garantindo apenas a capacidade de memorizar conceitos, funções e padrões espectrais. Basicamente, esta forma de formação serve apenas para passar no exame, sendo inadequada para desenvolver analistas de vibração qualificados e competentes. O Mobius Institute reconhecendo essas deficiências, criou e desenvolveu novos métodos de formação e materiais que tornassem conceitos complexos mais fáceis de entender e perceber. Este tipo de formação torna-se diferente, porque não se baseia na memorização, mas sim no material envolvente, nas animações 3D descritivas (Figura 4.2) e em simuladores interactivos, que permitem que tópicos avançados sejam experimentados e compreendidos de uma forma mais intuitiva.

O curso técnico “Analista de Vibrações – Categoria II” presenciado, durou uma semana e foi dado pelo Eng. João Pais, formador na área do Controlo da Condição, com mais de 20 anos de experiência prática em monitorização e diagnóstico de vibrações em máquinas.

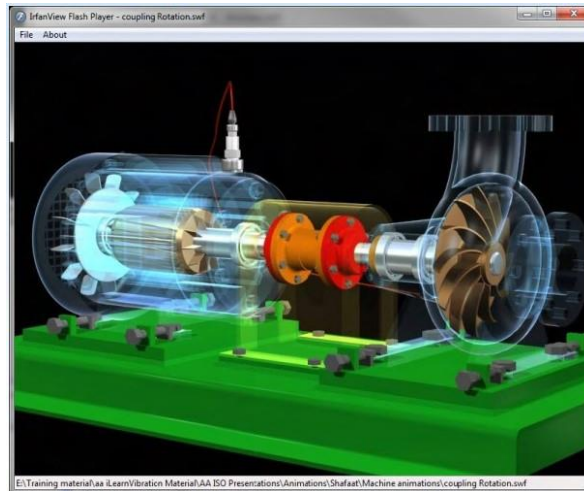


Figura 4.2 – Exemplo de um simulador interactivo da Mobius Institute.

Este curso pretende formar técnicos capazes de analisar vibrações, de modo a detectar e diagnosticar avarias em máquinas. O curso é dirigido a todos engenheiros/técnicos que, de algum modo, se relacionem com a área da manutenção e procuram adquirir os conhecimentos necessários à realização de análise de vibrações, detecção e diagnóstico de avarias em máquinas e à implementação de programas de Manutenção Condicionada. Destina-se a pessoas que têm alguma experiência em análise de vibrações em máquinas e uma compreensão básica da teoria da vibração e da sua terminologia. O curso oferece um estudo aprofundado das falhas de máquinas e do seu espectro associado, da forma de onda no tempo e características de fase da avaria.

Os objectivos essenciais do curso passam por:

- Estar familiarizado com as tecnologias utilizadas em monitorização da condição e práticas de manutenção;
- Conhecer os princípios fundamentais de vibrações e saber configurar colectores de dados/analísadores de vibração;
- Saber os princípios de funcionamento dos sensores de vibração e onde e como deverão ser instalados nas máquinas;
- Saber realizar análises espectrais de dados recolhidos em: motores, bombas, ventiladores, compressores, transmissões por correias e caixas de engrenagens e saber realizar diagnósticos de avarias comuns;
- Saber os princípios gerais de equilibragens e alinhamentos no local.

O conteúdo programático leccionado encontra-se dividido nos seguintes temas:

- Revisão das Práticas de Manutenção;
- Revisão das Tecnologias Usadas em Monitorização da Condição;
- Princípios Gerais de Vibração;
- Aquisição de Dados;
- Processamento de Sinal;
- Análise de Vibrações;
- Análise de Avarias;
- Diagnóstico e Teste de Máquinas;
- Acções Correctivas (Equilibragens, Alinhamentos, etc.);
- Programa de Monitorização Condicionada;
- Ensaio de Aceitação;
- Revisão das Normas Internacionais ISO.

Quando nos inscrevemos num curso do Mobius, fica-se com acesso imediato à Zona de Aprendizagem Mobius (Learning Zone) com acesso através da Internet. Esta plataforma disponibiliza imenso material didáctico, onde se pode até visualizar conceitos em aulas virtuais com instrutores experientes. Isto permite um “acostumar” aos temas e termos técnicos, para que possamos saber qual será o maior desafio antes do início de cada aula presencial. Além de que, esta plataforma continua disponível durante alguns meses após o término do curso, para que possamos continuar a rever os conceitos, animações e simuladores, sempre que necessário, solidificando ainda mais o que se aprendeu.

Na parte presencial os formandos interagem com o formador com confiança usando dispositivos de votação sem fios de forma anónima para o grupo, permitindo apenas ao formador saber em particular quem precisa de atenção extra e em que áreas. O objectivo é fazer com que todos sejam bem sucedidos sem o constrangimento do grupo todo saber que uma pessoa precisa de mais ou menos ajuda.

Curso de Termografia (ITC)

No seguimento da aposta da empresa em formação, foi também possível presenciar o Curso de Nível I de Termografia pelo ITC em Lisboa, nas instalações do CATIM (Centro de Apoio à Indústria Metalomecânica). O curso é destinado a todos aqueles que tenham

experiência profissional como técnicos, engenheiros, consultores, ou investigadores que trabalhem na área da manutenção mecânica, eléctrica ou civil.

O curso encontra-se dividido nos seguintes temas:

- Introdução à Termografia;
- Manuseamento de uma Câmara Termográfica;
- Conceitos físicos do calor;
- Conceitos físicos da radiação infravermelha;
- As várias aplicações e tipos de falhas detectadas;
- Termografia Quantitativa e Qualitativa;
- Rotinas de inspecção e elaboração de relatórios técnicos.

Apesar das câmaras termográficas e o *software* terem sido simplificados ao longo dos anos, ao mesmo tempo que evoluiu o seu desempenho, o mundo real da física não mudou. Compensar problemas tais como a emissividade e o vento na hora de interpretar com precisão as medições de temperatura sem contacto, continua a desafiar até mesmo o utilizador mais experiente.

O ITC, apoiado na larga experiência da FLIR na área da Termografia, desenvolve as técnicas e métodos, a engenharia das aplicações e formação técnica dos seus clientes. Utiliza vários modelos físicos para transmitir melhor os conhecimentos e práticas para realizar as inspecções termográficas de uma forma correcta e eficaz. Os certificados emitidos pelo ITC são válidos por um período de 5 anos, fazendo recertificação por mais 5 anos através da demonstração profissional de aplicação prática no campo da Termografia do trabalhador. Este curso prepara o formando para a qualificação como Termógrafo com certificado de Nível 1. São transmitidos conceitos básicos sobre Infravermelhos, como operar uma câmara em diferentes condições e para várias aplicações, como fazer uma correcta análise do ambiente a medir e como identificar potenciais erros de medição. Após a realização do curso, o formando possui a competência de realizar inspecções termográficas de acordo com as respectivas normas e regras, e reportar os resultados do seu trabalho.

4.1.2 – Representação da empresa em reuniões internacionais de distribuidores

Conferência da Mobius Institute em Paris

Ocasionalmente, o distribuidor Mobius Institute organiza *meetings* para reunir vários distribuidores para discutirem ideias e mostrar novos produtos e *softwares*. A reunião na Europa reúne todos os países que distribuem a marca Mobius na Europa e na Ásia Ocidental. Sendo a primeira vez, foi possível conhecer o *CEO* Jason Tranter e os vários “parceiros” existentes, e contribuir com ideias para melhorar o tipo de formação prestada por este instituto e analisar um pouco o que é feito noutros países em termos de *marketing* dos cursos. Esta reunião serviu também para verificar a dimensão que esta marca tem no Mundo, tendo formado até hoje (durante os seus 15 anos de existência), mais de 10 mil profissionais na área da análise de vibrações e estando presente em mais de 50 países espalhados pelo Mundo.

Esta conferência durou dois dias e foi realizada em Janeiro de 2014 em Paris, por ser um ponto mais central para os restantes países convidados. Foram analisados dados referentes ao ano passado e acumulados, e foram feitas perspectivas futuras sobre o número de formandos que cada região poderia vir a ter. Analisou-se todos os *updates* realizados nos manuais do curso, assim como as novas animações presentes em suporte digital, para facilitar uma melhor compreensão por parte do formando dos conceitos aprendidos.



Figura 4.3 – Fotografia tirada durante a Conferência realizada em Paris.

A Mobius Institute procura sempre melhorar os recursos didácticos de ano para ano e arranjar novas formas de transmitir os conhecimentos leccionados, sendo pioneira em animações 3D para a área da formação do Controlo da Condição por medição de vibrações.

Nesta reunião foi realizado um resumo sobre todo o processo de certificação dos cursos e analisados os seus concorrentes directos. Foi também possível verificar que a marca pretende expandir-se para outras áreas do Controlo da Condição, sempre com o intuito de ser um instituto independente, sem estar associado a qualquer marca, apenas comercializando produtos formativos. Outra novidade será a inserção de formação na própria empresa, através de um *software* designado por “iLearnReliability”, em que os recursos didácticos são adaptados a todos os elementos de uma equipa de manutenção e da própria empresa, permitindo a linearidade na transmissão de conhecimentos e de técnicas de Manutenção Condicionada e Fiabilidade. Este programa junta todos os programas construídos pela Mobius num só, abrangendo todas as áreas de interesse de uma fábrica. No entanto a aplicação destas medidas depende em grande parte da mentalidade e do índice de “aproveitamento” de cada técnico/trabalhador da empresa, em que requer que seja feito um trabalho de equipa, partindo da chefia até ao trabalhador do departamento de manutenção. A comercialização deste tipo de produto não será fácil, pois muitas empresas são reticentes a mudanças, mas considera-se uma boa atitude por parte do instituto em querer se inserir na aprendizagem central da Manutenção Fabril e nas suas aplicações práticas e técnicas de correcção de avarias comuns em máquinas rotativas. No geral, podemos dizer que esta reunião foi muito proveitosa, adquirindo um pouco de conhecimento sobre a Mobius Institute, desde a sua história, à sua importância, passando pelos seus intervenientes, analisando a vasta experiência dos formadores, e sobretudo verificar a qualidade do material e recursos didácticos que possuem e que tornam este num dos melhores institutos de análise de vibrações do mundo.

Conferência da FLIR em Madrid

Outra conferência que presenciou-se foi a da FLIR em Madrid, em Maio deste ano. Todos os anos, o representante da FLIR a nível Ibérico, reúne os distribuidores de Espanha e de Portugal para analisarem os números de vendas e apresentarem os novos produtos da marca.

Temos assistido ao longo dos anos a um crescimento na venda deste tipo de produtos, muito por culpa da acentuada descida de valor que estes equipamentos têm sofrido, sendo que hoje em dia uma pessoa consegue adquirir uma câmara termográfica ao valor de um portátil de média gama. Notamos também um grande surgimento de empresas na área da inspecção termográfica em edifícios, que apreciam e reconhecem esta tecnologia. O investimento requerido é sempre o maior entrave, pois muitos optam por adquirir apenas equipamentos de gama baixa. Para trabalhos de inspecção termográfica em equipamentos eléctricos esta gama serve perfeitamente, no entanto, para edifícios seria recomendado um equipamento com melhor resolução e sensibilidade térmica. Convencer este tipo de clientes a adquirirem equipamentos mais caros tem sido uma constante ao longo dos anos, sendo que muitos têm reticências relativamente à eficácia na detecção de problemas estruturais ou de fugas em tubagens por exemplo.

Este ano o tema da conferência foi para a nova gama de produtos que a FLIR lançou no mercado, a área do Teste e Medição (T&M). Inclui equipamentos como Video-endoscópios, medição de corrente eléctrica (Multímetros e Pinças Amperimétricas) e Termo-higrómetros. São equipamentos robustos e de qualidade, que permitem uma conexão em tempo real (via *Bluetooth*) com as câmaras termográficas, inserindo os valores de medida no termograma obtido. Com este tipo de equipamentos a FLIR pretende dinamizar o mercado, e concorrer um pouco com o seu adversário directo nesta área, a FLUKE. Foi também demonstrado um novo *gadget* que a marca vai lançar no mercado este ano (FLIR One), que é um acessório para *Iphone* que permite termos uma “mini” câmara termográfica no nosso telemóvel. Pudemos verificar que o objectivo principal e futuro da empresa é disponibilizar a tecnologia da termografia a todos e de acesso para todos.



Figura 4.4 – Fotografia tirada durante a Conferência realizada em Madrid.

Em suma, esta conferência permitiu obter uma outra perspectiva do mercado de venda de equipamentos a nível ibérico, conhecer novas gamas de produtos e tecnologias que a marca tem vindo a conceber, e reconhecer a dimensão que a FLIR tem no mundo.

4.1.3 – Experiência como formador

Formação a uma empresa de Produção de Energia Geotérmica

Esta formação teve por base a adjudicação de uma proposta enviada a uma empresa que faz aproveitamento da energia geotérmica, respeitante à aquisição de um colector de dados VT-60 da B&K Vibro (Figura 4.5). Este equipamento possui vários módulos previamente instalados, no entanto apenas alguns deles estão disponíveis no pacote básico disponível para venda. Os restantes módulos podem ser logo adquiridos juntamente com o equipamento, ou posteriormente desbloqueados através da compra de um código. A empresa para além do pacote básico, que permite a medição dos níveis globais de vibração das máquinas (ISO 10816), adquiriu o módulo de equilibragem com os respectivos acessórios, como o sensor tacométrico e a respectiva fita reflectora. Este equipamento veio acompanhado de um respectivo *software* (Vibro Report) para descarregamento e tratamento dos dados recolhidos.



Figura 4.5 – Fotografia tirada ao equipamento (VT-60) e ao Rotor onde se realizou a demonstração de uma tarefa de equilibragem.

Importa referir que esta formação realizada foi a primeira desde início de funções na empresa, pelo que exigiu uma elevada preparação e um estudo completo sobre todas as funcionalidades do equipamento.

Foi uma formação que contou com a presença de oito elementos, entre técnicos e engenheiros, que pertenciam a um dos complexos da empresa. Iniciou-se a formação com a explicação de todos os instrumentos que acompanhavam o equipamento e qual a função de cada um deles. Seguiu-se um ensinamento sobre as funcionalidades e potencialidades do equipamento, e na forma de manuseio dos menus e passos de configuração dos módulos. Normalmente os clientes exigem na nossa formação, a aplicação prática de um exemplo de medição, pelo que estes não foram excepção. Tendo em conta que a maior fatia de utilização do equipamento seria para tarefas de equilibragem de rotores de bombas de extracção, os mesmos pediram que a aplicação prática fosse realizada a um rotor que estava em manutenção na oficina do complexo, como podemos verificar na Figura 4.5.

O procedimento de equilibragem efectuado será explicado com maior detalhe mais à frente neste Capítulo. Importa referir que, ao contrário das equilibragens “normais”, nesta não se procedeu à colocação de massa de correcção, mas sim à “remoção” de massa física do rotor, através da furação de pequenos buracos ao longo de uma linha circular. Embora em alguns casos este procedimento seja o único possível (folgas entre encaixes reduzidas), não recomendamos que o mesmo seja efectuado, uma vez que cria instabilidades dinâmicas no rotor, que muitas vezes no futuro não conseguem ser resolvidas, para além de nunca termos um valor acertado da massa que retiramos do equipamento.

No geral, podemos concluir que esta formação foi um sucesso. Todos avaliaram positivamente a formação prestada e ficaram a conhecer o funcionamento do equipamento, pelo que o objectivo foi cumprido.

Palestra sobre vibrações no corpo humano (ISEL)

No seguimento de uma pós-graduação em Higiene e Segurança no Trabalho que foi realizada no ISEL este ano, o Professor Chedas Sampaio convidou a SPECMAN para dar uma formação na área das vibrações do corpo-humano. Com o auxílio do Eng. João Matos, foi pedido que se ministrasse esta formação, no sentido de demonstrar aos alunos no que consiste esta área das vibrações e como afectam o nosso corpo, fazendo recurso a elementos teóricos e ao equipamento que temos na nossa empresa para medição deste tipo de vibrações (analisador de vibrações no corpo humano 4447 da B&K).



Figura 4.6 – Fotografia tirada ao equipamento (Type 4447) e à formação realizada no ISEL.

No meio laboral, as vibrações constituem agentes físicos nocivos que afectam a saúde e segurança dos trabalhadores. Encontram-se presentes em quase todas as actividades, nomeadamente em construção civil e obras públicas, indústrias extractivas, exploração florestal, fundições e transportes. Ao contrário de outros agentes aos quais o trabalhador está exposto de forma passiva (como por exemplo o ruído), no caso das vibrações existe sempre contacto entre o trabalhador (através das mãos, nádegas, costas e pés) e o equipamento ou máquina que transmite a vibração. Esta energia vibratória é absorvida pelo corpo, como consequência da atenuação promovida pelos tecidos e órgãos.

O corpo humano possui várias frequências naturais. Se uma frequência externa coincide com a frequência natural do sistema, ocorre a ressonância. A frequência de ressonância é a mais nociva para o corpo humano, pois, quando o corpo entra em ressonância, amplifica

a vibração que recebe. A gama de frequências 0,5 Hz a 80 Hz é significativa em termos de resposta do corpo humano, mas no corpo humano, as suas extremidades e cada um dos seus órgãos têm frequências naturais próprias, não vibrando como um sistema único. Esta característica do corpo humano origina amplificação e atenuação de vibrações de excitação em diversas partes do mesmo, devido às suas próprias frequências naturais. As frequências de excitação mais eficazes – em termos de patogénese – para vibração vertical encontram-se entre os 4 e os 8 Hz. Vibrações de excitação na gama 2,5 a 5 Hz geram elevadas ressonâncias nas vértebras cervicais e lombares com uma amplificação até 240%. Vibrações de excitação na gama 4 a 6 Hz causam ressonâncias no tronco com uma amplificação até 200%., e finalmente, vibrações de excitação na gama 20 a 30 Hz originam as ressonâncias mais elevadas, na região da cabeça e cintura escapular, com uma amplificação até 350%.

Existem, fundamentalmente, dois tipos de vibrações (Tabela 4.1):

- As que se transmitem ao sistema mão-braço, durante o manuseamento de materiais em vibração, ou de ferramentas e máquinas (como por exemplo martelos pneumáticos ou serras eléctricas);
- As que se transmitem ao corpo inteiro, quando a superfície de suporte corporal está em vibração (como por exemplo escavadoras ou empilhadores). Não causam danos ao nível dos órgãos perceptores, mas provocam desconforto e mau estar nos indivíduos durante a sua rotina.

Tabela 4.1 – Tabela com os tipos de distúrbios e danos no corpo-humano causados pelas vibrações.

VIBRAÇÕES NO CORPO INTEIRO	VIBRAÇÕES NA MAO-BRAÇO
Danos Físicos Irreversíveis: <ul style="list-style-type: none"> • Lumbago isquémico; • Sistema Circulatório; • Sistema Urológico. 	Síndrome dos dedos brancos: <ul style="list-style-type: none"> • Falta de sensibilidade e controlo; • Tremura dos dedos; • Destruição das artérias e nervos das mãos.
Distúrbios no Sistema Nervoso Central: <ul style="list-style-type: none"> • Fadiga; • Insónia; • Dor de Cabeça; • Tremuras. 	Danos nos tendões e músculos entre o pulso e o cotovelo

A exposição directa a vibrações pode ser extremamente grave, podendo danificar permanentemente alguns órgãos do corpo humano. As vibrações podem afectar o conforto, reduzir o rendimento do trabalho e causar desordens das funções fisiológicas, dando lugar ao desenvolvimento de doenças quando a exposição é intensa. O Decreto-Lei n.º 46/2006, de 24 de Fevereiro, estabelece os limites de exposição diária aos dois tipos de vibração anteriormente referidos, para um período de referência de 8 horas, como designados de seguida.

Tabela 4.2 – Tabela com valores limite e de acção para os dois tipos de vibrações no corpo-humano.

Vibrações no Sistema Mão-Braço	Vibrações no Corpo Inteiro
Valor Limite de Exposição: 5 m/s ² Valor de Acção: 2,5 m/s ²	Valor Limite de Exposição: 1,15 m/s ² Valor de Acção: 0,5 m/s ²



Figura 4.7 – Os vários acessórios do equipamento de demonstração (Type 4447)

O medidor de vibrações no corpo humano (Figura 4.7), processa o sinal proveniente do acelerómetro e calcula os parâmetros de vibração desejados, sendo a cadeia de medição de vibrações transmitidas ao corpo humano constituída por:

- Transdutor de vibração absoluta: Realiza a transdução do sinal de vibração absoluta num sinal eléctrico;
- Acessório de montagem do transdutor (Figura 4.8): Garante a correcta montagem do transdutor no ponto de medição, de modo a assegurar medições correctas e reproduzíveis;
- Cabo de ligação do transdutor: Estabelece a ligação entre o transdutor e o medidor de vibrações;

- Medidor de vibrações: Efectua o condicionamento do sinal eléctrico proveniente do transdutor e fornece o resultado das medições ao utilizador.
- Calibrador: Assegura o correcto funcionamento da cadeia de medição e controla o erro desta última.



Figura 4.8 – Exemplos de montagem dos acessórios de medição em vários tipos de equipamentos de trabalho.

As obrigações da entidade patronal passam então por três pontos essenciais:

- Avaliação dos riscos: nas actividades susceptíveis de apresentar riscos de exposição a vibrações mecânicas, o empregador deve avaliar e, se necessário, medir os níveis de vibrações a que os trabalhadores se encontram expostos. A avaliação dos riscos deve ser actualizada sempre que haja alterações significativas que possam desactualizá-la, nomeadamente a criação ou modificação de postos de trabalho, ou se o resultado da vigilância da saúde demonstrar a necessidade de nova avaliação. No entanto, sempre que seja excedido um valor limite de exposição, a periodicidade mínima da avaliação dos riscos é de dois anos.
- Medição do nível de vibrações: A medição do nível de vibrações mecânicas deve ser realizada por entidade acreditada, considerando-se como tal a entidade reconhecida pelo Instituto Português de Acreditação (IPAC), com conhecimentos teóricos e práticos, bem como experiência suficiente para realizar ensaios, incluindo a medição dos níveis de exposição a vibrações.
- Vigilância da saúde: O empregador deve assegurar a vigilância adequada da saúde dos trabalhadores em relação aos quais o resultado da avaliação revele a existência de riscos, com vista à prevenção e ao diagnóstico precoce de qualquer afecção relacionada com a exposição a vibrações mecânicas.

Com base na avaliação dos riscos e sempre que sejam excedidos os valores de exposição, a entidade patronal deve estabelecer e implementar um programa de medidas técnicas e/ou organizacionais destinadas a reduzir ao mínimo a exposição a vibrações mecânicas e os riscos que dela resultam, tomando em consideração, nomeadamente:

- Métodos de trabalho alternativos que reduzam a exposição a vibrações mecânicas;
- Escolha de equipamento de trabalho adequado, bem concebido do ponto de vista ergonómico e que, tendo em conta o trabalho a efectuar, produza o mínimo de vibrações possível;
- Instalação de equipamento auxiliar destinado a reduzir o risco de lesões provocadas pelas vibrações, por exemplo assentos que amortecem eficazmente as vibrações transmitidas a todo o organismo e punhos que reduzam as vibrações transmitidas ao sistema mão-braço;
- Programas adequados de manutenção do equipamento, do local e das instalações existentes no local de trabalho;
- Concepção e disposição dos locais e postos de trabalho;
- Informação e formação dos trabalhadores para que utilizem correctamente e em segurança o equipamento de trabalho, por forma a reduzir ao mínimo a sua exposição a vibrações mecânicas;
- Limitação da duração e da intensidade da exposição;
- Horário de trabalho apropriado, com períodos de repouso adequados;
- Fornecimento aos trabalhadores expostos de vestuário que os proteja do frio e da humidade.

Depois de explicados estes conceitos base, foram efectuados alguns testes práticos, com recurso a simuladores e equipamentos mecânicos, para os formandos entenderem e perceberem o esquema de medição efectuado aos níveis de vibração e como se coloca o transdutor de vibração com os vários acessórios disponíveis, nos diferentes tipos de equipamentos.

No geral, podemos dizer que esta acção de formação foi um sucesso, pois foi possível transmitir algum conhecimento prático e legislativo em termos de vibrações no corpo humano, aos alunos desta pós-graduação.

Formação em Alinhamento de Veios a uma empresa Metalomecânica

Esta empresa entrou em contacto com a SPECMAN, para obter uma formação num equipamento que tinham adquirido a alguns anos (VIBROPORT 41 com acessório VIBROLIGN 41) para alinhamento de veios e análise de vibrações. Esta empresa é a uma Metalomecânica situada na zona de Lisboa. Como muitas empresas no nosso país, adquiriram um analisador de vibrações com o respectivo acessório para alinhamento de veios, no tempo em que dinheiro para investimentos destes abundava. Como a formação técnica dos elementos envolvidos não foi a melhor na altura, o equipamento ficou nas “prateleiras” da empresa durante vários anos, sem ser usado.

Procedemos então à formação na empresa e aos seus elementos técnicos, demonstrando o funcionamento do equipamento com aplicação prática e transmitindo alguns conceitos teóricos básicos. Vamos de seguida explicar um pouco no que consiste o alinhamento de veios, para percebermos um pouco o funcionamento do equipamento.

O alinhamento de veios é um processo onde duas ou mais máquinas, como um motor e uma bomba por exemplo, estão posicionadas de tal modo que no ponto de transferência de energia entre um eixo e outro (acoplamento), os centros axiais de rotação de ambos os eixos devem ser colineares, quando as máquinas estão a operar em condições normais de funcionamento. O desalinhamento pode ser definido por quatro tipos diferentes, quer no plano radial ou axial, como mostrado na Figura 4.9.

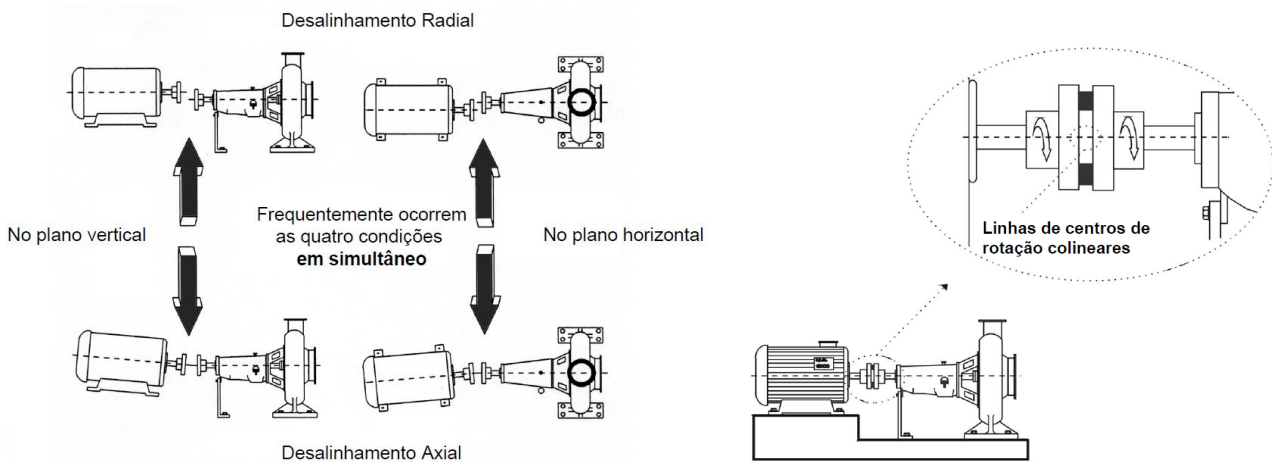


Figura 4.9 – Esquemas descritivos dos tipos de desalinhamentos existentes.

Deve-se sempre proceder a operações de alinhamento em máquinas rotativas sempre que exista uma intervenção de manutenção ou instalação de novos equipamentos, ou caso seja detectado sintomas de desalinhamento de veios, como por exemplo através da monitorização de vibrações ou análises termográficas (Figura 4.10).

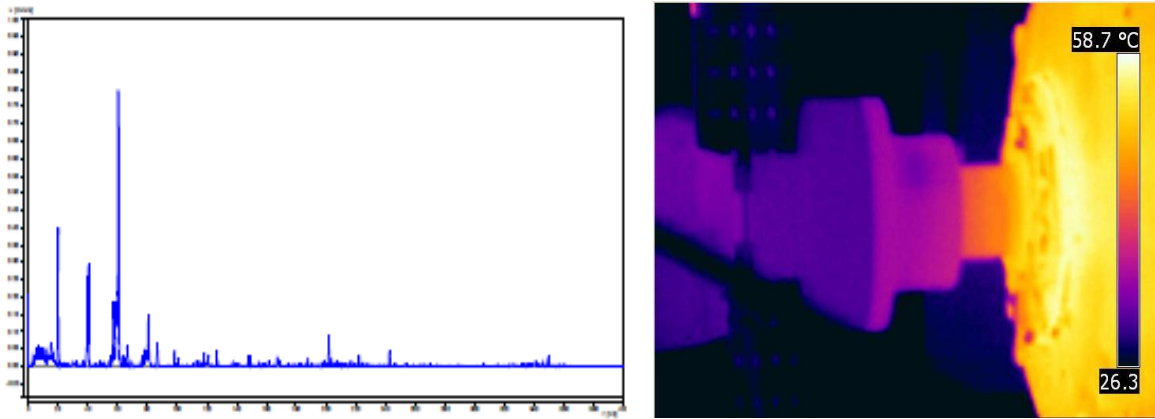


Figura 4.10 – Espectro à esquerda característico de sintomas de desalinhamento e imagem termográfica característica dos sintomas de desalinhamento de um acoplamento.

Através deste tipo de análises, consegue-se detectar prematuramente sintomas de desalinhamento nas máquinas. É possível também identificar outros factores que indicam a existência de desalinhamento através de uma inspecção meramente visual:

- Danos prematuros nos rolamentos, empanques, veio e ou união;
- Excessiva perda de óleo nos empanques;
- Pernos de fixação e pernos laterais soltos (efeito pata coxa);
- Pernos do acoplamento soltos ou quebrados;
- Alguns acoplamentos aquecem ao trabalhar;
- Existência de pó dentro da coberta do acoplamento (elastómero);
- Quando máquinas similares estão a vibrar menos ou a ter uma vida de serviço maior.

O alinhamento de veios é um processo efectuado sempre com o equipamento parado e “a frio”. Os fabricantes devem de fornecer os dados exactos de coeficientes térmicos de expansão, no caso de equipamentos que trabalhem a elevadas temperaturas, para desta forma serem inseridos no equipamento que efectua o alinhamento e se proceder ao acerto no cálculo final.

Existem quatro métodos diferentes de proceder a alinhamentos: por régua de bolha; por palpa folgas; através de comparadores; ou por laser. Este último é o mais eficaz de todos e traz inúmeras vantagens a este processo, nomeadamente:

- Permite um alinhamento de alta precisão;
- É ideal para grandes distâncias;
- Tempo reduzido de alinhamento;
- Não é necessário calcular a deflexão;
- Informação dos resultados e correcções a efectuar;
- Sem necessidade de efectuar medições pré-determinadas;
- Armazenamento de dados e consequente impressão.



Figura 4.11 – Equipamento de alinhamento de veios por laser (VIBROLIGN 41)

Depois de transmitidos estes conceitos, procedeu-se à explicação do funcionamento do equipamento (Figura 4.11) em contexto prático. O equipamento faz o cálculo automático de todos os dados, mostrando todos os passos a efectuar, necessitando apenas que se oriente e posicione os sensores da forma mais correcta. Este sistema funciona com base num suporte que tem um emissor e um receptor (Figura 4.12), que emite um feixe de laser para o suporte seguinte onde se encontra um prisma óptico que faz projectar o feixe novamente para o lado oposto, para o receptor. Estes dois suportes são fixos aos dois veios, o mais próximo possível do acoplamento, sendo que o emissor/receptor é colocado no elemento fixo (ex: o motor) e o prisma colocado no elemento que é passível de ser

ajustado no seu suporte (ex: bomba). É sempre necessário fazer alguns ajustes, para o feixe de laser focar o receptor e então se obter um campo fechado de medição. Faz-se uma medição num ponto que consideramos 0° em fase, rodando de seguida ambos os suportes nas restantes posições (90°, 180° e 270°). Desta forma o equipamento consegue fazer os cálculos necessários, como o ângulo e a dimensão da folga, e dar-nos os valores requeridos para corrigir o alinhamento do grupo. É mostrado um gráfico onde são mostrados os apoios do elemento que se pode ajustar, e onde podemos verificar que altura ou posição radial temos de corrigir (apertar/desapertar os apoios e movimentar a máquina radialmente) para alinhar correctamente os dois equipamentos.

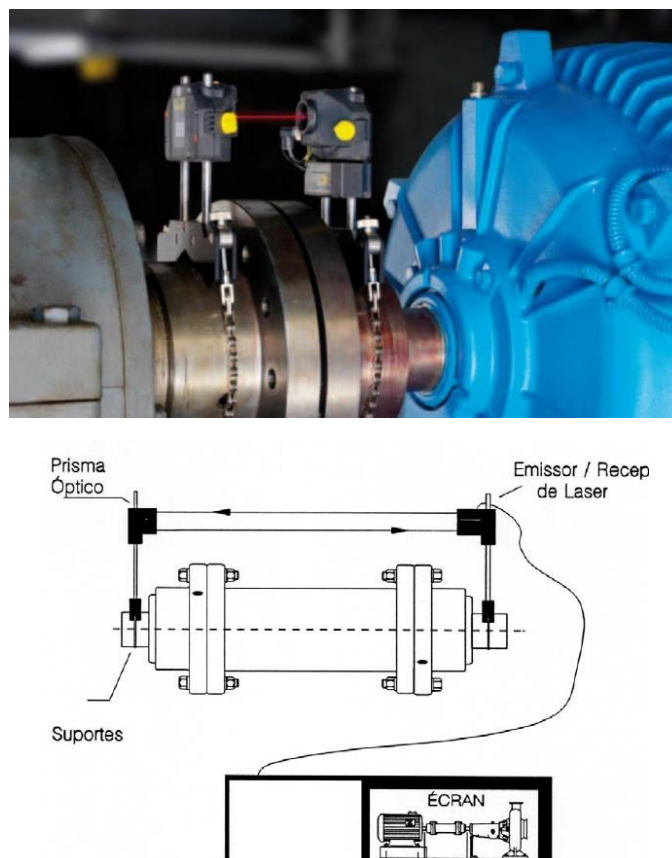


Figura 4.12 – Exemplo de montagem do equipamento de alinhamento por laser.

Com esta formação, foi possível habilitar os técnicos de conhecimentos e práticas de alinhamento de veios, para realizarem a sua função de forma autónoma e eficaz. Apesar da minha fraca experiência neste tipo de equipamentos, consegui demonstrar tecnicamente o funcionamento do equipamento e transmitir os conceitos previamente aprendidos através da pesquisa de informação detalhada, quer sobre o equipamento, quer sobre esta área de aplicação.

Formação de Equilibragem no VT-60 a uma empresa de Manutenção

Através de um processo de aquisição de um equipamento (VT-60) por uma empresa que realiza manutenção e comercialização de máquinas ferramenta, foi realizada uma formação em equilibragem nas instalações da SPECMAN a dois elementos técnicos que iriam ficar responsáveis pelo equipamento. Para este tipo de formação fizemos recurso a elementos didácticos e simuladores para o ensinamento dos conceitos de uma forma eficaz e produtiva.

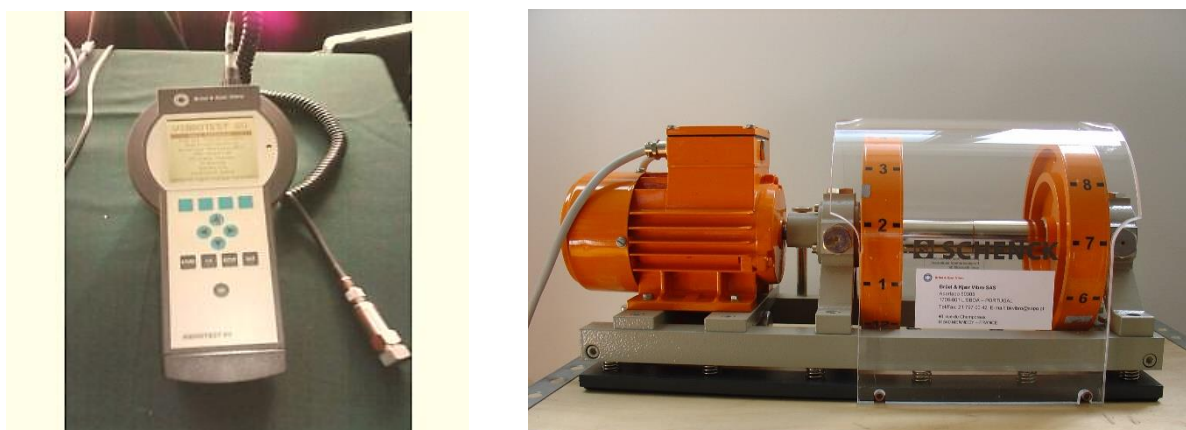


Figura 4.13 – Equipamento demonstrado (VT-60) e simulador físico para tarefas de equilibragem.

A empresa comercializa e fornece suporte técnico na área da maquinaria industrial, nomeadamente em CNC (Comando Numérico Computorizado). O equipamento que adquiriram serviria para procedimentos de manutenção nas suas máquinas (ex: tornos, fresadoras, etc.) como realização de equilibragens aos cabeçotes dos centros de maquinaria. Vamos de seguida descrever um pouco no que consiste esta técnica de correcção na área do Controlo de Condição, para entendermos um pouco o que foi leccionado nesta formação.

O desequilíbrio é uma das causas mais comuns de vibração em equipamentos rotativos, nomeadamente: rotores de motores eléctricos, rotores de ventiladores e bombas centrífugas, uniões de acoplamento, cilindros, secadores, etc. Um rotor desequilibrado produz vibrações e cargas tanto no próprio rotor como na estrutura de suporte. Essas cargas têm que ser suportadas pelos rolamentos e chumaceiras dos equipamentos, induzindo desgaste e avarias precoces.

As causas de desequilíbrio podem ser variadas, das quais destacamos:

- Erros de maquinagem;
- Não homogeneidade do material;
- Montagem incorrecta;
- Sujidade acumulada não uniforme;
- Deflexões nos rolos;
- Corrosão/Erosão dos rotores;
- Aquecimento excessivo/desigual.

O desequilíbrio pode ser considerado como a distribuição não uniforme de massa em torno do eixo de rotação de um rotor. Por outras palavras, existe um ponto mais pesado em qualquer local ao longo do veio. Esse ponto mais pesado, em rotação, produz uma força centrífuga nos rolamentos.

Qualquer rotor (ventilador, bomba, etc.) apresenta sempre um determinado desequilíbrio residual. Como resultado vamos encontrar sempre um pico a 1 x RPM no espectro de frequências, que irá aumentar com o aumento da velocidade de rotação. No entanto, se numa medição de rotina verificamos que esse pico tem uma amplitude elevada, saberemos que a máquina se encontra desequilibrada. Existem três tipos diferentes de desequilíbrio: o Desequilíbrio Estático, o Desequilíbrio de Binário e o Desequilíbrio Dinâmico [14].

Desequilíbrio de estático - Este tipo de desequilíbrio é definido como sendo uma excentricidade do centro de gravidade, causada por uma massa pontual, a um determinado raio do eixo de rotação do rotor. Para repor o centro de gravidade no centro de rotação é necessária uma massa de valor igual colocada a 180° em oposição à massa de desequilíbrio e no mesmo raio. Na prática, tal significa que um desequilíbrio estático é corrigido num plano. Os ângulos de fase medidos nas duas chumaceiras na direcção horizontal apresentam uma diferença de aproximadamente $0^\circ \pm 30^\circ$ (em fase). Esta condição também se verifica para as medições obtidas na direcção vertical, existindo uma diferença de aproximadamente 90° entre as leituras obtidas na horizontal e vertical ($\pm 30^\circ$).

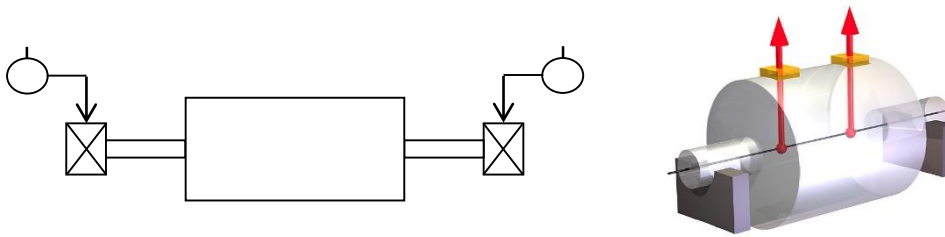


Figura 4.14 – Esquemas descritivos do tipo de desalinhamento estático.

Desequilíbrio de binário - O desequilíbrio de binário é um tipo especial do desequilíbrio dinâmico. No caso de um cilindro, podemos ter o caso em que existem duas massas iguais e colocadas simetricamente em relação ao centro de gravidade. Neste caso o rotor está equilibrado estaticamente, pois o seu centro de gravidade não está excêntrico. Contudo, quando em rotação, as duas massas vão provocar forças que geram um binário e consequentemente vibrações excessivas. Neste caso, o desequilíbrio só pode ser corrigido medindo as vibrações da máquina em rotação e colocando massas de correcção em dois planos. Ao contrário do desequilíbrio estático, neste os ângulos de fase apresentam uma diferença de aproximadamente $180 \pm 30^\circ$, sendo as condições verificadas também na direcção vertical.

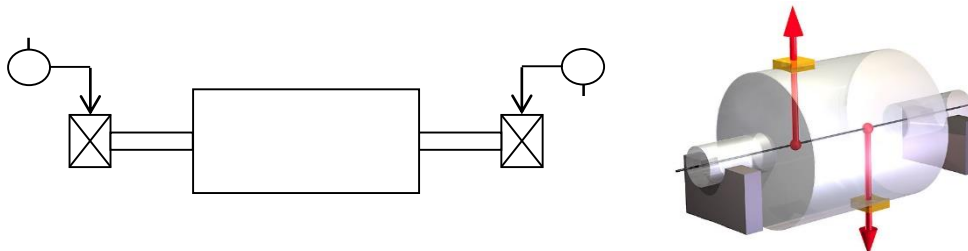


Figura 4.15 – Esquemas descritivos do tipo de desalinhamento binário.

Desequilíbrio dinâmico - Na prática, o desequilíbrio de um rotor é normalmente a combinação de um desequilíbrio estático com um desequilíbrio de binário, ou seja, é um desequilíbrio dinâmico. Os ângulos de fase medidos na direcção radial nos dois rolamentos apresentam uma diferença de fase que pode variar entre 0° a 180° . No entanto, a diferença dos ângulos de fase obtidos nas duas chumaceiras na direcção horizontal deverá ser a mesma que se obtém nas medições recolhidas na direcção vertical ($\pm 30^\circ$).

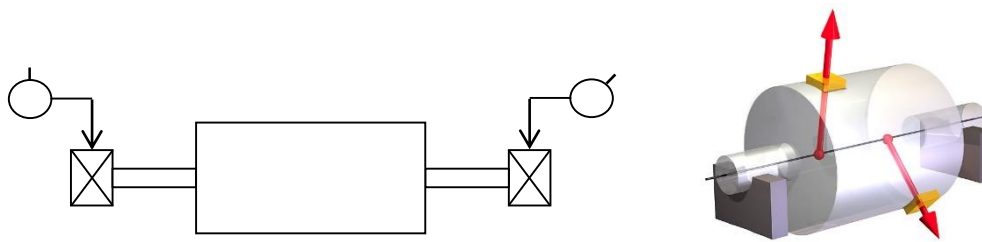


Figura 4.16 – Esquemas descritivos do tipo de desalinhamento dinâmico.

Como vimos anteriormente o desequilíbrio produzirá um espectro com um pico a 1 x RPM, sendo a sua amplitude proporcional à severidade do desequilíbrio e ao quadrado da velocidade de rotação (expressão matemática da Força Centrifuga). Normalmente, as vibrações mais elevadas surgem nas medições radiais (para máquinas horizontais), no entanto, se estivermos na presença de um rotor suspenso desequilibrado vamos obter vibrações elevadas nas direcções radiais e axiais [14]. O espectro (Figura 4.17) terá a mesma característica para os diversos tipos de desequilíbrio, apenas com a medição do ângulo de fase poderemos identificar qual o tipo de desequilíbrio em presença.

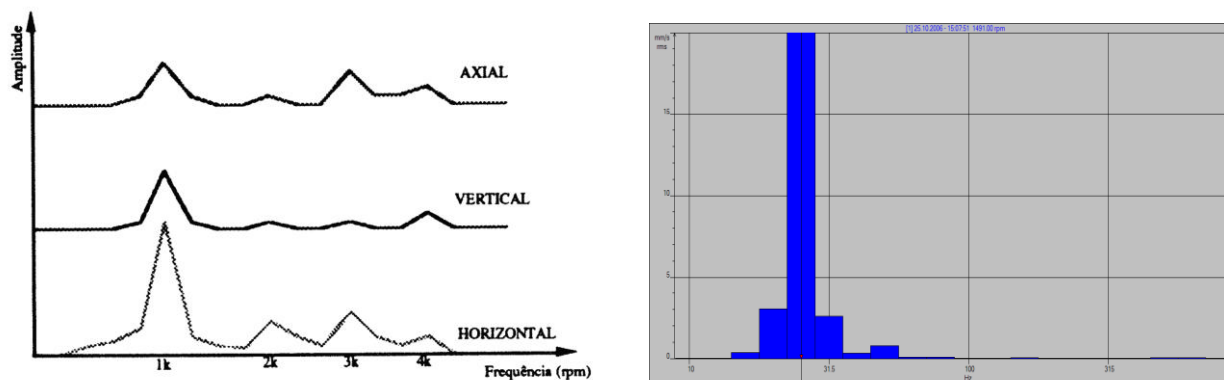


Figura 4.17 – Exemplo de espectros que revelam sintomas de desequilíbrio.

A equilibragem é então necessária de modo a evitar o aparecimento de fendas, evitar cargas excessivas nas chumaceiras e prolongar a vida útil dos rolamentos e da própria máquina. Equilibrar significa melhorar a repartição de massas de um rotor, de maneira a que as forças centrífugas, em torno do eixo de rotação do rotor e impostas pela construção do mesmo, não ultrapassem as tolerâncias admissíveis. [8]

Idealmente uma máquina rotativa equilibrada não teria nenhum desequilíbrio. Na prática tal é impossível. É assim necessário definir a fronteira entre um desequilíbrio aceitável e um desequilíbrio não aceitável para cada máquina rotativa. Para tal torna-se necessário agrupar os rotores em diferentes tipos de rotores.

A norma internacional ISO 1940 [8] define diferentes tipos de rotores rígidos e atribui o grau de desequilíbrio aceitável para cada um deles. Estes valores partem do princípio de que o rotor é rígido e de que a sua massa está simetricamente distribuída no sentido longitudinal. No caso de rotores rígidos mas com massa distribuída assimetricamente, ter-se-á de calcular a repartição do máximo desequilíbrio aceitável por chumaceira em função da sua distribuição de massas. Considera-se um rotor rígido aquele cuja velocidade de rotação máxima é inferior a metade da sua primeira frequência natural. No caso de rotores flexíveis, aplica-se a norma internacional ISO 11342 [13].

O princípio de equilibragem baseia-se na alteração temporária de distribuição de massa do rotor, pela adição de massas de ensaio, e na medição da amplitude e fase da vibração resultante. O efeito das massas de ensaio permite a determinação da quantidade e localização da massa de correcção. Existem dois tipos de equilibragem: a um e a dois planos. Muitos rotores podem ser considerados como um disco, requerendo uma equilibragem estática ou num plano, como é o caso de muitos ventiladores. Como regra prática consideram-se “discos” os rotores com um diâmetro 7 a 10 vezes maior que a sua largura.

Poderemos resumir os passos da equilibragem num plano, nos seguintes pontos:

- Efectuar a análise de frequência da máquina e verificar o sintoma de desequilíbrio;
- Determinar a qualidade de equilibragem (ISO 1940);
- Colocar o sensor de referência (Tacómetro para medir RPM da máquina) com a respectiva fita reflectora e medir novamente no programa de equilibragem;
- Determinar a massa de ensaio a colocar (através de formula de cálculo);
- Colocar essa mesma massa de ensaio bem fixa e com o equipamento parado;
- Lançar o equipamento à velocidade nominal e registar o valor de amplitude e fase;
- Verificar se a repetibilidade do ensaio foi seguida e parar a máquina;
- Retirar a massa de ensaio e verificar a massa de correcção calculada pelo analisador;

- Colocar a massa de correcção segundo o ângulo calculado e no raio de montagem da massa de ensaio, e lançar novamente o equipamento à velocidade nominal;
- Medir e registar a vibração em amplitude e fase e determinar se o desequilíbrio residual obtido está de acordo com o grau de equilibragem escolhido;
- Verificar se houve melhorias e se será necessário repetir o processo.

No caso de equilibragens a dois planos, os passos são os mesmos, utilizando apenas ao invés, dois acelerómetros, um para cada plano das chumaceiras. De salientar que para correcção de massas nos rotores, o procedimento normal é a colocação/adição da mesma. No entanto poderá haver casos em que terá de ser retirada massa interna do próprio rotor ao invés de adicionar (ex: folgas/tolerâncias pequenas). Após as explicações de todos estes conceitos e posterior aplicação prática no modelo didáctico disponível, os técnicos ficaram habilitados a realizar equilibragens usando os devidos procedimentos e consultando as normativas respeitantes.

Formação de Termografia na FLIR E8 a uma empresa de Moldes

Através de um contacto de uma empresa de moldes situada na zona centro de Portugal, que fabrica peças e componentes plásticos para a indústria automóvel, foi possível realizar uma formação em Termografia e no respectivo equipamento que se utiliza para esta técnica de Controlo da Condição. Vamos de seguida analisar a aplicação prática dos conceitos teóricos da Termografia a situações reais de medição e descrever o funcionamento/procedimento da utilização de uma câmara termográfica.

Recordando então, a radiação infravermelha emitida por um objecto pode ser distribuída em três formas:

- Reflectida (ρ) – reflecte a radiação;
- Transmitida (τ) – permite a passagem de radiação;
- Emitida (ϵ) – radiação. Como podemos verificar, uma câmara de infravermelhos mede e reproduz em imagens a radiação de infravermelhos emitida pelos objectos nestas três formas em conjunto. O facto de a radiação resultar da temperatura de superfície do objecto, possibilita que a câmara calcule e mostre essa temperatura. No entanto, a radiação medida pela câmara não depende apenas da temperatura do objecto, mas varia também em função da emissividade.

A emissividade é um valor que define a capacidade que um objecto tem para radiar ou emitir energia infravermelha em comparação com um corpo negro à mesma temperatura e comprimento de onda. Dado que a quantidade de energia infravermelha emitida depende directamente da emissividade, é importante que se tenha em atenção a algumas variáveis que a afectam. A emissividade de um objecto varia então com:

- Temperatura do objecto;
- Comprimento de onda;
- Ângulo de visão;
- Geometria do alvo;
- Condição da superfície.

Normalmente, os materiais dos objectos e os tratamentos de superfície possuem uma gama de emissividade compreendida entre 0,1 e 0,95. A emissividade de uma superfície extremamente polida (espelho) é inferior a 0,1, enquanto uma superfície oxidada ou pintada possui uma emissividade mais elevada (Figura 4.18). Tinta à base de óleo, independentemente da cor no espectro visível, possui uma emissividade superior a 0,9 em infravermelhos. A pele humana possui uma emissividade entre 0,97 e 0,98. Os metais não oxidados representam um caso extremo de perfeita opacidade e de elevada reflexividade, o que não varia muito com o comprimento de onda. Consequentemente, a emissividade dos metais é baixa – aumentando apenas com a temperatura. Nos não--metais, a emissividade tende a ser elevada e diminui com a temperatura. [6]

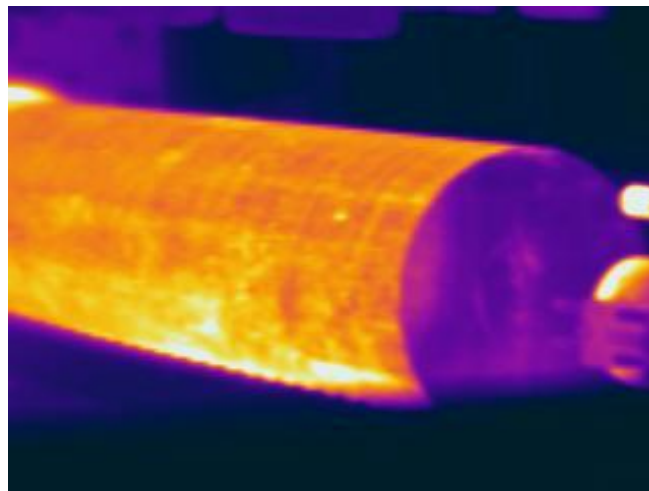


Figura 4.18 – Exemplo da diferença entre um material oxidado (a laranja) e polido (a roxo).

A radiação resulta também do meio exterior e reflecte-se no objecto, pelo que a radiação do objecto e a radiação reflectiva serão também influenciadas pelo efeito de absorção da atmosfera. Para se medir a temperatura com precisão é, portanto, necessário compensar os efeitos de um determinado número de diferentes fontes de radiação. Isto é feito internamente e automaticamente pela câmara. Os seguintes parâmetros do objecto devem, todavia, ser introduzidos na câmara:

- A emissividade do objecto
- A temperatura aparente reflectida
- A distância entre o objecto e a câmara
- A humidade relativa
- Temperatura da atmosfera

A temperatura aparente reflectida é um parâmetro que é utilizado para compensar a radiação reflectida no objecto. Se a emissividade for baixa e a temperatura do objecto for relativamente diferente da reflectida, será importante definir e compensar correctamente a temperatura aparente reflectida. O parâmetro distância deve ser introduzido, uma vez que consiste na medida entre o objecto e a lente frontal da câmara. Este parâmetro é utilizado para compensar os dois factos seguintes:

- Que a radiação do alvo seja absorvida pela atmosfera entre o objecto e a câmara.
- Que a radiação da própria atmosfera seja detectada pela câmara.

A câmara também pode compensar o facto de a transmissibilidade depender também da humidade relativa da atmosfera. Para o fazer, define-se a humidade relativa para o valor correcto, utilizando um dispositivo auxiliar para a medir (ex: Termo-higrómetro). Para distâncias curtas e humidade normal, a humidade relativa pode, normalmente, ser deixada num valor predefinido de 50%.

Podemos ver de seguida, de uma forma esquemática, o funcionamento interno de uma câmara termográfica, desde o ponto de detecção à imagem que aparece no nosso visor.

- A – Radiação Infravermelha
- B – Óptica para focagem (germânio)
- C – Detector de Infravermelhos
- D – Sensor electrónico
- E – Processamento de Imagem (Termograma)

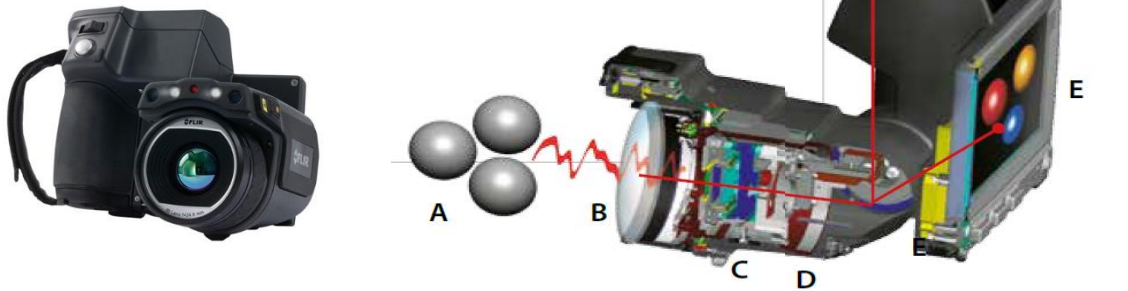


Figura 4.19 – Imagens descritivas do funcionamento de uma câmara termográfica.

Como a Termografia funciona a partir do conceito básico de diferencial de temperatura, as aplicações desta tecnologia são muito variadas.

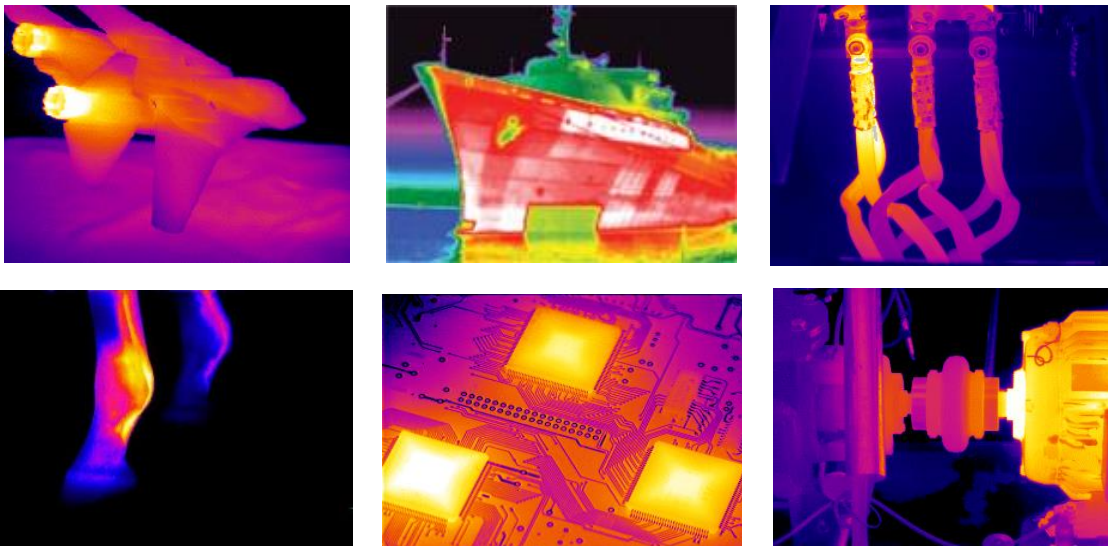


Figura 4.20 – Exemplos de aplicações da área da Termografia.

As inspecções termográficas a equipamentos mecânicos têm aplicabilidade:

- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Condicionada;
- Garantia da Qualidade,
- Análises Forenses.

Quando os componentes mecânicos trabalham é gerado calor. Forças originadas por, fricção, desalinhamentos, lubrificação imprópria e tensão imprópria das correias de transmissão, provocam aquecimento excessivo. Assim sendo, poderemos detectar várias anomalias em diversos equipamentos, como:

- Motores e Geradores;
 - Ligações eléctricas;
 - Rotor e estator;
 - Acoplamentos.
- Rolamentos;
- Correias de Transmissão;
- Caixas de Engrenagens.

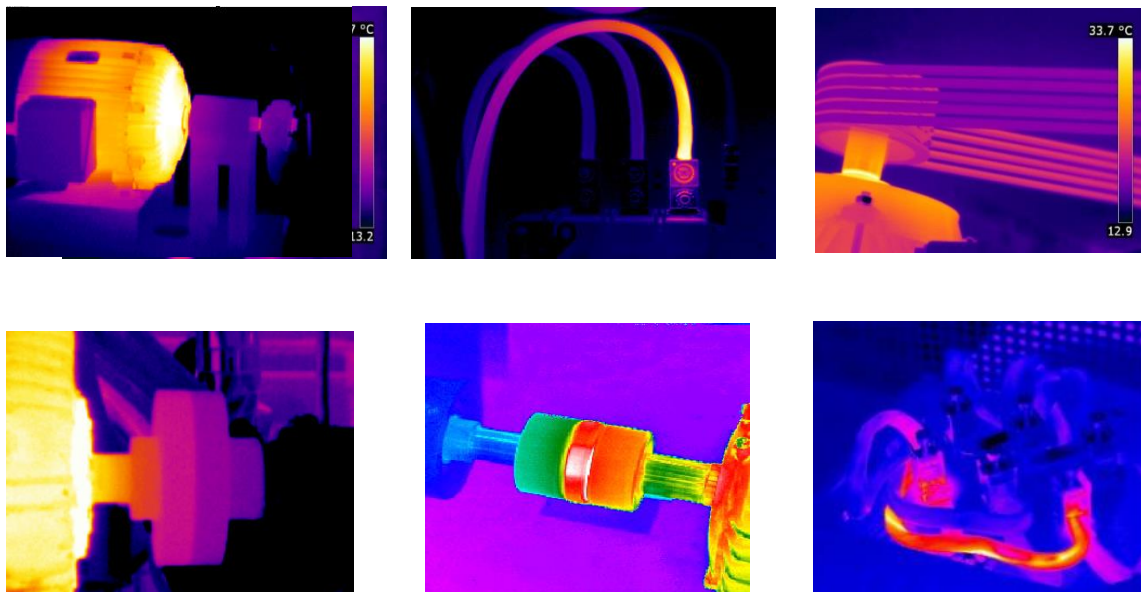


Figura 4.21 – Exemplos de avarias detectadas com a Termografia.

A Termografia permite uma inspeção rápida e uma análise em tempo real dos elementos mecânicos. Nos últimos tem-se verificado uma crescente procura de empresas que querem utilizar esta tecnologia no seu dia-a-dia, melhorando não só a qualidade do seu trabalho, mas também a eficácia com que detectam os problemas.

A empresa onde foi realizada a formação tinha como base a indústria e a componente mecânica, pelo que as técnicas e exemplos práticos cingiram-se mais nesse âmbito. A câmara iria ter como aplicabilidade prática a inspeção das matrizes dos moldes, procurando verificar os defeitos encontrados na homogeneidade do material depois de injectado o plástico. Seria verificado defeitos nos pontos de injeção do material na matriz, e a forma de arrefecimento do material, depois de retirado da forma. Podemos dizer que esta formação foi interessante, pois podemos verificar que cada vez mais pessoas apostam na Termografia para o controlo da qualidade dos seus produtos.

4.1.4 – Experiência na prestação de Serviços

Serviço de Medição & Análise de Vibrações a uma Fábrica de Alumínios

A pedido de uma empresa que fabrica perfis de alumínio, situada na zona da Grande Lisboa, foi possível realizar um serviço de Medição & Análise de Vibrações a vários equipamentos da fábrica. A fábrica todos os anos recorre aos nossos serviços para fazer essa monitorização e acompanhamento da condição dos seus equipamentos.

Esta fábrica produz perfis extrudidos de alumínio, destinando às mais diversificadas indústrias, que vão desde as indústrias da construção civil e arquitectura de interiores, até às mais avançadas indústrias de electrónica e automóvel. Tem três grandes áreas de produção, a Extrusão, onde são feitos os moldes finais dos perfis pretendidos, a Refusão, onde é feita a reciclagem e têmpera do alumínio em bruto, e a área dos Acabamentos Finais, onde são feitas as lacagens e tratamentos químicos consoante a indústria final de entrega do produto.

Numa máquina rotativa, as vibrações têm origem em várias fontes, como nos rolamentos, nas caixas reductoras, desalinhamentos, desequilíbrios, entre outras. No final todas estas fontes de vibração são conjugadas e é produzida a vibração do próprio sistema. No

entanto, conhecendo as características das vibrações é possível conhecer as características da máquina. A análise de vibrações é pois uma ferramenta de diagnóstico tão poderosa, que a investigação da parte dos defeitos de máquinas tornar-se-ia impossível sem a sua ajuda. Antes de iniciar a análise de vibrações é necessário conhecer a máquina/equipamento e as circunstâncias que conduziram ao pedido dessa análise, ou seja, é necessário rever o histórico e as circunstâncias da máquina/equipamento. O conhecimento do histórico é uma ajuda importante, principalmente quando o defeito se faz sentir no aumento excessivo da amplitude de vibrações. Este aumento poderá ser devido a uso a elevadas cargas de funcionamento ou deterioração das condições mecânicas, ou ainda alterações realizadas na máquina/equipamento.

O conhecimento das características da máquina/equipamento, como velocidade nominal, tipo de rolamentos, número de pás, potência, número de dentes e estágios de uma caixa de engrenagens, entre outras, permite que seja possível estabelecer as frequências de vibração normalmente esperadas e o tipo de instrumentação e transdutores de vibração convenientes para essa análise.

A análise de vibrações começa por determinar a condição da máquina/equipamento através da recolha de medidas de vibração. Estas leituras devem em geral ser retiradas o mais próximo possível das chumaceiras, porque é através destes componentes que as forças de vibração são transmitidas. As medições de vibrações devem ser feitas segundo aos planos Vertical e Horizontal (Planos Radiais) e por cada rolamento (Figura 4.22), devendo também ser recolhida uma medição axial em cada ponto. Em máquinas montadas na vertical, devem ser feitas duas medições radiais desfasadas a 90° uma da outra.

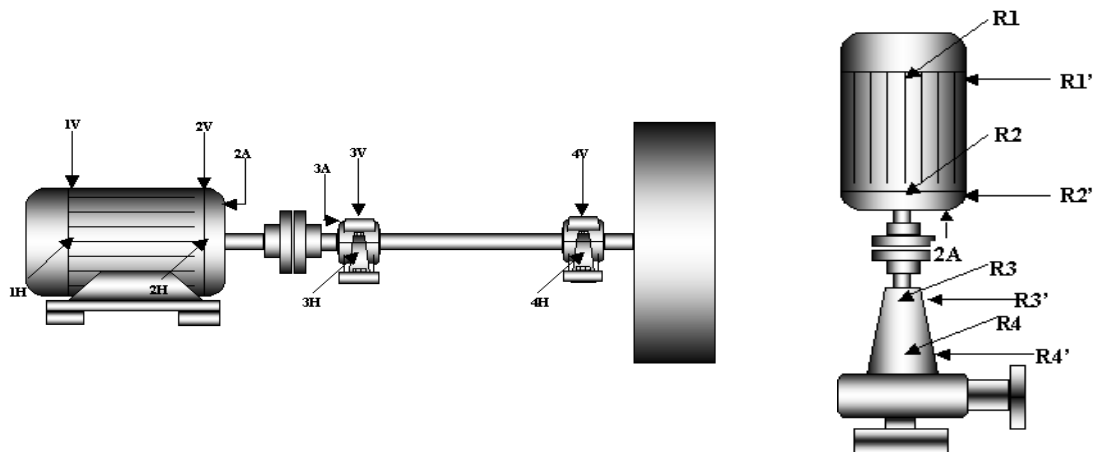


Figura 4.22 – Esquema dos vários pontos de medição vibrométricos recolhidos numa máquina.

Uma vez que a configuração das máquinas varia (tipo, tamanho, componentes, etc.), os dados de vibração devem ser recolhidos em cada rolamento e os pontos de medição devem ser identificados com sequência numérica (Figura 4.23), seguindo o fluxo de potência do sistema, ou seja, do órgão de accionamento para o órgão de trabalho.

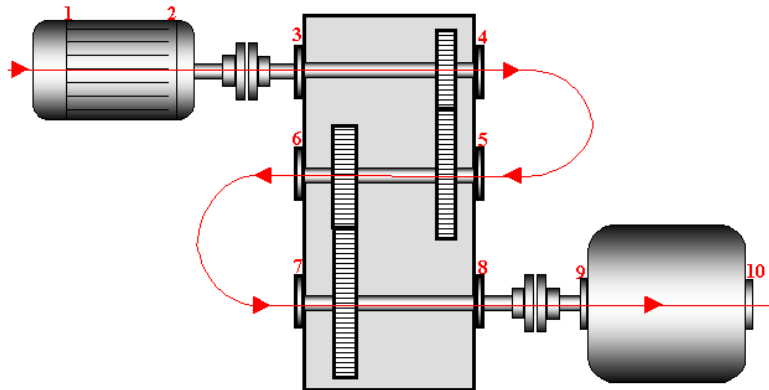


Figura 4.23 – Esquema do circuito de vibração de um equipamento.

Os percursos de inspecção para recolha de dados podem ser baseados de acordo com a disposição na planta, sequência de máquinas ou de acordo com o tipo de máquina, sendo que as duas primeiras são as mais utilizadas. Por cada ponto de medição é feita a recolha de, pelo menos, dois parâmetros de vibração com diferentes bandas de frequência por forma a detectar diferentes tipos de problemas:

- Velocidade de Vibração: parâmetro recolhido, para monitorizar o desenvolvimento de anomalias mecânicas como o desequilíbrio, o desalinhamento e as folgas;
- Aceleração de Vibração: parâmetro recolhido, por forma a monitorizar o desenvolvimento de anomalias em rolamentos e em engrenagens.

São ainda definidos ou criados valores de referência, e definidos valores de alarmes para alerta e perigo, para ser avaliada a condição do equipamento no presente e no futuro. Estes dados podem ser comparados com Tabelas de avaliação/diagnóstico de avarias como vemos na tabela seguinte.

Vibration Guideline Chart

Symptom	Most likely	Other Possible Causes	Page
1X Running Speed	Imbalance See page D-3	Misalignment Bent Shaft Looseness Eccentric journals, gears or pulleys Broken/cracked rotor bars (pole pass around 1X) Reciprocating machine (two-stroke engine)	D-13 D-16 D-18 D-54 D-37 D-32
2X Two Times or First Harmonic	Misalignment (High Axially) See page D-13	Looseness: just 1X, 2X, & 3X Looseness: lots of harmonics Bent shaft	D-18 D-18 D-16
3X Second Harmonic	Misalignment See page D-13	Cocked bearing Rotating element (vane, blade, etc.)	D-17 D-29
4X Fourth harmonic	Coupling Problem See page D-52	Coupling problem Severe misalignment Rotating element (vane, blade, etc.)	D-52 D-13 D-29
5X-8X	Vane Passing See page D-29	Rotating element (vane, blade, etc.)	D-29
0.39X-0.48X	Oil Whirl See page D-24	Oil whip	
0.5X Half Running Speed	Rub See page D-32	Rotor rub (sleeve bearing) Severe looseness (0.5X, 1X, 1.5X, ...) Drive belt resonance (could be >1X) Reciprocating machine (four-stroke engine)	D-22 D-18 D-56 D-32
Sub-Synchronous	Belt Wear (Harmonics) See page D-53	FTF Fundamental Train Frequency Flow turbulence Transducer problem (ski-slope) Eccentric rotor (Pole pass freq) Hunting tooth problems (HTF)	D-26 D-30 D-3 D-35 D-51
100 or 120Hz Line Sync Frequency	Rotor Problem See page D-38	Stator eccentricity Eccentric rotor (pole pass sidebands) Shorted laminations Phasing problems (1/3 PPF sidebands)	D-33 D-35 D-41
Synchronous Higher Frequencies	Gears See page D-43	Fan speed x # blades (Aerodynamic) Cavitation, impeller x # vanes (Hydraulic) Loose rotor bars (2xLF around RBPF)	D-29 D-31 D-38
Non-Synchronous Higher frequencies	Bearing Defects Lubrication See page D-26	Inner race - BPI (1X sidebands) Outer race BPO Ball Spin - BS (FT sidebands) Cage - FT (sub-synchronous)	D-26
Harmonics	Looseness See page D-18	Bearing wear (non-synchronous) Misalignment (1X-4X) Rotor rub Journal bearing wear Belt wear (BR harmonics) Gear faults (harmonics of gearmesh) Broken/cracked rotor bars (1X & PPF sidebands)	D-26 D-35 D-22 D-23 D-53 D-43 D-37
Sidebands	Bearing Wear See page D-26	Gear faults (1X around gearmesh) Rotor eccentricity (PPF sidebands around 2xLF) Broken/cracked rotor bars (pole pass around 1X) Loose rotor bars (2xLF around RBPF) Loose stator coils - synch. motor (1X around CPF) Phasing problems (1/3 PPF sidebands)	D-43 D-35 D-37 D-38 D-40
Raised Noise Floor	Severe Looseness See page D-18	Severe bearing fault Cavitation (high frequency) Resonance (raised in small region) Transducer problem Flow turbulence	

Tabela 4.3 – Tabela com as avarias mais comuns encontradas em espectros e descrição dos sintomas. [6]

O ensaio realizado nesta fábrica teve como objectivo avaliar a condição dinâmica de funcionamento dos equipamentos (28 ao todo) sem que houvesse lugar a perturbações no processo produtivo da mesma. As acções de inspecção e monitorização utilizadas foram apoiadas por um sistema de análise de condição através da medição de vibrações e, paralelamente, avaliadas por controlo sensorial as condições de instalação das unidades, nomeadamente:

- Maciços e bases de apoio;
- Fugas;
- Ruídos não característicos;
- Outras situações consideradas anómalas.

O sistema de monitorização utilizado foi apoiado por um colector de dados/analizador de vibrações (CSI 2120) em conjunto com os seus transdutores (Acelerómetro IEPE Industriais) descritos na Figura 4.24, e por um programa informático dedicado (RBM Ware), o qual mantém em bases de dados toda a informação recolhida durante as acções de inspecção e monitorização actuais e anteriores, nomeadamente:

- Níveis globais de vibrações;
- Sinal em tempo e espectros com bandas de frequência de acordo com o equipamento em causa;
- Notas de inspecção relativos à inspecção sensorial desenvolvida.

O “nível global” é o valor eficaz (RMS) do sinal, que corresponde à energia cinética proporcional ao produto massa x velocidade². O valor eficaz tem sido usado na medição de vibrações desde há muitos anos. É um guia prático para o nível de vibrações. Em geral, à medida que a condição da máquina se deteriora, o nível global (valor eficaz de vibração) aumenta. O nível global é normalmente calculado, tendo em consideração, a vibração na gama de frequência dos 10 Hz aos 1.000 Hz, apenas. Deste modo, é possível utilizá-lo como uma referência para comparação, quer com o histórico da máquina, quer com as respectivas normas associadas. Esta medida, na nossa rotina de monitorização, será usada como ferramenta de detecção.

Na outra vertente, a análise espectral ou análise de frequência, é essencial não só na detecção de avarias como no diagnóstico da própria avaria e da sua causa. É um factor muito importante na Monitorização da Condição, devido ao facto de uma alteração num nível de uma componente de vibração ser facilmente mascarada por outro nível de vibração a outra frequência mais dominante, mas aceitável. Para esta técnica é normalmente utilizado um sistema electrónico de filtragem capaz de seleccionar partes do espectro de vibrações, e com capacidade de diagnóstico dependente do tipo de filtro disponível. Na análise em frequência pode ser empregue uma rede de filtros capaz de rejeitar parte do espectro de frequências. Os filtros utilizados podem ser de quatro tipos:

- Passa-alto (deixa passar apenas as altas frequências);
- Passa-baixo (deixa passar apenas as baixas frequências);
- Passa-banda (deixa passar apenas uma determinada banda de frequências);
- Rejeição de bandas (rejeita apenas uma determinada banda de frequências).

Esta técnica aliada à visualização do sinal em tempo do ponto medido, confere à nossa rotina de medição, uma poderosa ferramenta de diagnóstico da avaria do equipamento.

Para além destes equipamentos, foi ainda utilizada uma lâmpada estroboscópica (Alluris SMS-200B) para medição da velocidade de rotação dos equipamentos. Este valor era inserido no colector de dados, para o correcto ajuste da gama de medição. De referenciar que as rotinas de medição tinham sido previamente criadas e definidas pelo software dedicado, para desta forma, no campo, ser feita uma aquisição de dados ordenada e eficaz.

Os procedimentos de medida caracterizaram-se pela recolha, diferenciada por cada ponto da máquina, do seu nível global de vibração, espectros de frequência, análise de *PeakVue* (parâmetro adimensional para condição de rolamentos) e de desmodulação em frequência de acordo com diversos filtros e formas de onda (sinal em tempo). O desenvolvimento dos ensaios consistiu na recolha de sinais vibratórios em diversos pontos, diferenciados por cada órgão, obtidos a partir de um acelerómetro. Os parâmetros de medida utilizados foram a velocidade e a aceleração de vibração, expressos em [mm/s] RMS e [g] RMS respectivamente.

Para critério de aceitação em termos de severidade vibratória para os equipamentos, foi adoptada a Norma Internacional ISO 10816-1 (valores reproduzidos na Tabela 4.4). De acordo com as suas características os equipamentos são classificados por cada uma das classes.

Tabela 4.4 – Tabela com os valores de níveis globais de vibração, correspondentes à sua severidade por cores de aviso, de acordo com cada Classe de Equipamento. [9]

mm.s ⁻¹ RMS	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III
0,18	BOM	BOM	BOM
0,7			
1,12	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL
1,8			
2,8	SEVERO	SEVERO	SEVERO
4,5			
7,1	CRÍTICO	CRÍTICO	CRÍTICO
11,2			
45			

Valores Recomendados pela ISO 10816

CLASSE I

Máquinas até 15 kW

CLASSE II

Máquinas entre 15 e 75 kW ou até 300 kW instaladas em fundações especiais

CLASSE III

Máquinas com potências superiores a 75kW, com fundações rígidas (Frequência Natural da fundação é superior à frequência de funcionamento).

CLASSE IV

Máquinas de elevada potência cujas fundações possuem uma frequência natural inferior à frequência de funcionamento

A análise de todos os dados recolhidos permite detectar alterações no comportamento dinâmico dos equipamentos, as quais dão origem a um diagnóstico detalhado sobre a importância real da anomalia ou avaria em desenvolvimento.

No relatório técnico final (Ver Anexo A), foram elaborados quadros, com as anomalias detectadas e recomendações para os equipamentos, em que a sua condição de funcionamento ou de conservação justifique programar uma acção de manutenção, esta por sua vez, associada a um grau de prioridade de intervenção, de acordo com a tabela apresentada a seguir.

Tabela 4.5 – Tabela com os critérios de prioridade adoptados e respectiva descrição [9]

Nível	Descrição
1	Intervenção de Emergência (Monitorizar Continuamente)
2	Intervenção logo que possível (Monitorizar com mais frequência)
3	Intervenção quando oportuno (Monitorizar)
4	Sem necessidade de intervenção

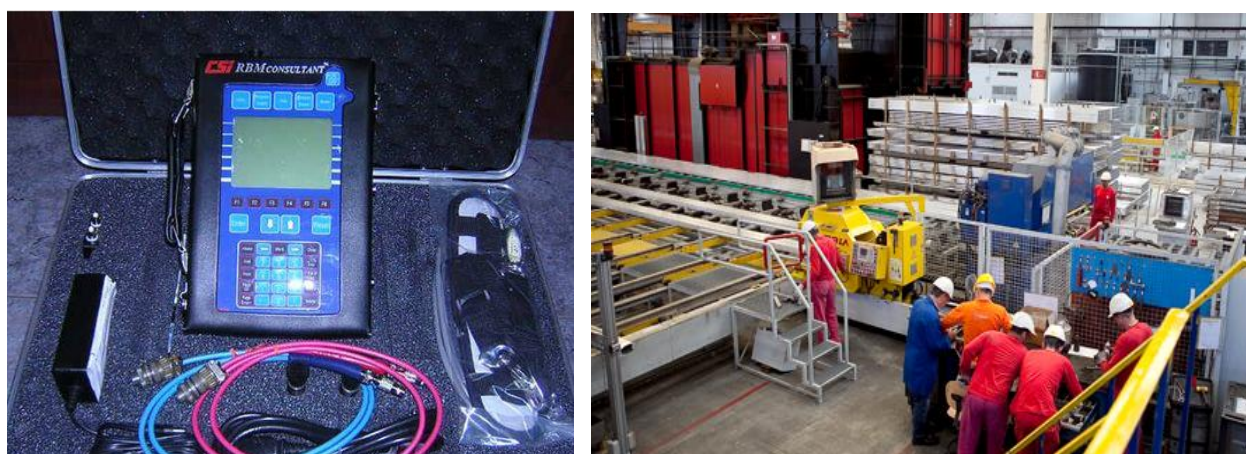


Figura 4.24 – Equipamento utilizado para a colecção de dados vibrométricos das máquinas e fotografia exemplificativa das instalações fabris do cliente.

Ao construir este relatório técnico pude aplicar os conceitos referidos anteriormente e diagnosticar algumas avarias das máquinas analisadas. Para isso foram analisados todos os dados de vibração dos pontos medidos de cada equipamento através de *software* dedicado de visualização e configuração dos espectros e dos níveis globais. Através da realização deste serviço pude avaliar os respectivos procedimentos a realizar num circuito de medição e a responsabilidade da correcta avaliação da condição dos equipamentos.

Medição a um Grupo Electrobomba numa Estação Elevatória de Água

A pedido de uma empresa de fornecimento e tratamento de águas, foi possível realizar um serviço de Medição & Análise de Vibrações a Grupo Electrobomba situado numa das suas Estações Elevatórias (Figura 4.25). Os mesmos requeriam a nossa análise, pois tinha sido detectado um ruído anormal a plena carga de funcionamento do equipamento.

Procedemos então à medição e análise dos dados para proferir uma conclusão sobre o estudo. O desenvolvimento dos ensaios consistiu na recolha de sinais vibratórios nos pontos indicados na figura em baixo, obtidos a partir de um acelerómetro com amplificação interna e uma elevada sensibilidade.



Figura 4.25 – Fotografia do equipamento medido e localização dos seus pontos de medição.

As unidades de medida utilizadas foram a velocidade e a aceleração de vibração, respectivamente. Os procedimentos de medida caracterizaram-se pela recolha, diferenciada por cada órgão (4 chumaceiras que corresponde a 4 pontos de medição no total), do nível global de vibração, espectros de frequência, análise de *PeakVue* (parâmetro adimensional) e de desmodulação em frequência, de acordo com diversos filtros, e formas de onda (sinal no tempo). Os ensaios foram realizados com o equipamento a funcionar nas condições normais de operação (velocidade nominal) e em vazio. Para o desenvolvimento das acções foi utilizado um colector de dados, um acelerómetro e uma lâmpada estroboscópica. Para critério de aceitação, em termos de Severidade Vibratória do equipamento, foi adoptada a Norma Internacional ISO 10816-3 (valores reproduzidos na Tabela em baixo). De acordo com as suas características os equipamentos foram classificados no Grupo I como podemos ver na tabela seguinte.

Tabela 4.6 – Tabela com os valores de níveis globais de vibração, correspondentes à severidade da respectiva Classe de Equipamento escolhida e salientada. [8]

								Velocity		
									11	0.43
									7.1	0.28
									4.5	0.18
									3.5	0.14
									2.8	0.11
									2.3	0.09
									1.4	0.06
									0.71	0.03
rigid	flexible	rigid	flexible	rigid	flexible	rigid	flexible		mm/s rms	inch/s rms
pumps > 15 kW radial, axial, mixed flow				medium sized machines 15 kW < P ≤ 300 kW		large machines 300 kW < P < 50 MW		Foundation		
integrated driver		external driver		motors 160 mm ≤ H < 315 mm		motors 315 mm ≤ H		Machine Type		
Group 4		Group 3		Group 2		Group 1		Group		
A New machine condition				C Short-term operation allowable						
B Unlimited long-term operation allowable				D Vibration causes damage						

A análise aos valores dos níveis globais de vibração registados durante as medições efectuadas (Ver Anexo B) revela que, de acordo com o critério de severidade adoptado, são considerados bons/aceitáveis. Esta situação pode ser constatada na Figura 4.26 e 4.27, a qual apresenta sob a forma de gráfico de barras, os níveis vibrométricos registados em cada ponto de medição.

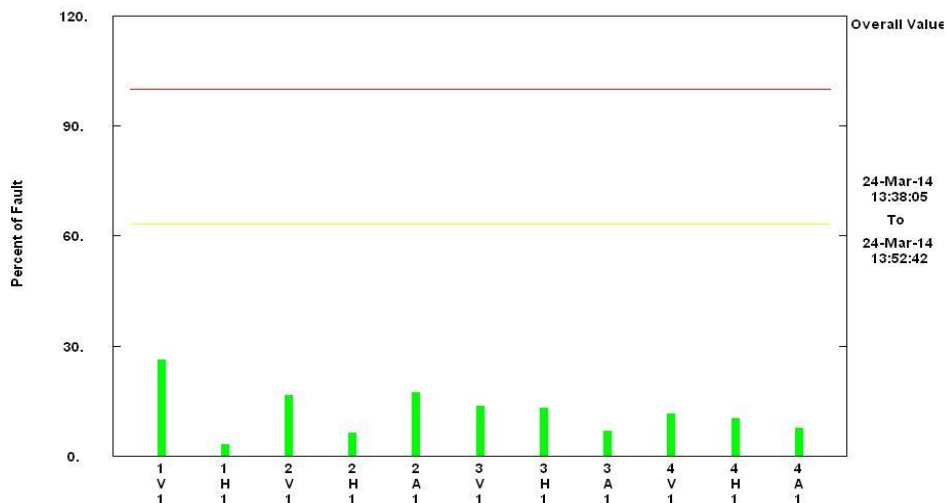


Figura 4.26 – Gráfico que mostra os valores dos níveis globais em cada ponto de medição.

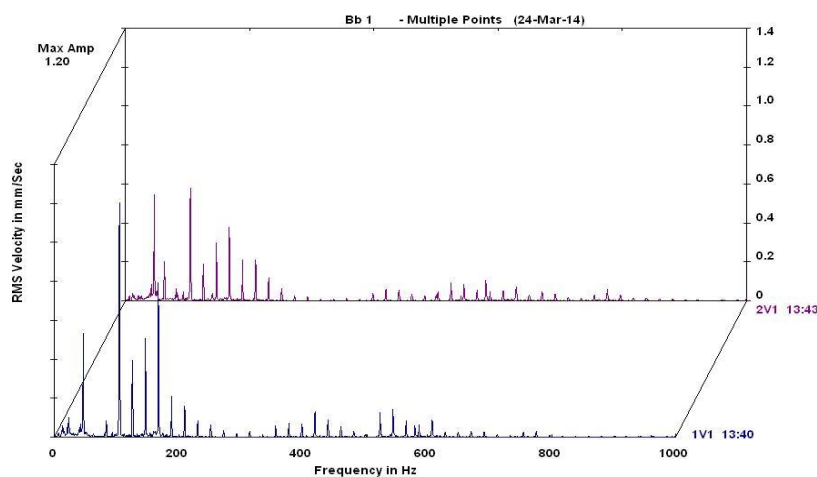


Figura 4.27 – Espectros obtidos no ponto de medição escolhido no equipamento.

A análise espectral efectuada aos dados recolhidos revelou a presença de frequências associadas a componentes eléctricos, as quais poderão ter origem no variador de frequências, conforme se pode constatar nos espectros em cascata, respectivamente, do lado oposto ao ataque do motor e do lado do ataque do motor (Ponto 2 da Figura 4.26).

Conforme detectado pelo ruído presente no local e face aos níveis de vibração e às amplitudes das frequências determinadas, recomendou-se que o variador de frequência fosse inspeccionado/testado e caso necessário o mesmo deveria de ser substituído. No entanto, a nossa recomendação para com o nosso cliente foi que se procedesse a uma análise mais exaustiva com bandas de frequências características, para determinar o real estado do variador. De preferência seria feita uma análise com a presença do variador de frequência e outra sem o mesmo em funcionamento com o equipamento, para assim ser despistada essa avaria. Relativamente ao motor/bomba, os níveis de vibração recolhidos não revelaram a necessidade de qualquer acção de reparação/manutenção.

Este serviço permitiu-me, não só analisar um grande equipamento, como também testar as minhas capacidades de diagnóstico de avarias. Como foi possível verificar, os níveis vibrométricos registados eram muito baixos, pelo que tornou a decisão final sobre qual o tipo de avaria ainda mais complicada. Nesta situação pedi auxílio ao Eng. João Pais, uma vez que com a sua experiência, conseguiria mais facilmente me orientar sobre que tipo de dados deveria analisar e onde me focar. No final fizemos as nossas considerações finais e devido à falta de dados espectrais concretos (elevada frequência para diagnosticar avarias eléctricas) recomendou-se uma nova reinspecção ao local.

Serviço de Medição & Análise Termográfica a um Hotel

Foi requisitado à SPECMAN um serviço de Medição & Análise Termográfica a um Hotel localizado a Norte de Portugal, onde o administrador suspeitava de infiltrações nas coberturas e na fachada do edifício. Vamos descrever os procedimentos efectuados e descrever as técnicas realizadas para emissão do relatório final da inspecção (Ver Anexo C).

O sistema de medição & análise termográfica é composto por uma câmara termográfica e por um software para análise, arquivo e realização de relatórios. Os ensaios são realizados com recurso a uma câmara termográfica, que utiliza a transmissão de calor por radiação da superfície do elemento a medir, sem necessidade de qualquer período de tempo de estabilização de temperaturas.

A Medição & Análise Termográfica é uma ferramenta indispensável para a detecção de qualquer problema térmico em edifícios, dos quais podemos salientar:

- Defeitos de isolamento;
- Incorrecta instalação de isolamentos;
- Detecção de entupimentos nos sistemas de aquecimento;
- Detecção de humidade;
- Fugas de ar entre componentes;
- Detecção de fugas em canalizações internas do edifício.



Figura 4.28 – Exemplos de defeitos encontrados em edifícios pela Termografia.

Os problemas de isolamento são causados muitas vezes por projectos inadequados, construções defeituosas ou falhas no próprio material construtivo. Em edifícios, as perdas de energia ocorrem por:

- Radiação (estruturas);
- Convecção (fugas de ar);
- Condução (mau isolamento ou infiltrações):

Importa referir que as transferências de calor por condução e convecção não são directamente sentidas pela câmara de infravermelhos, ela apenas detecta os seus efeitos, uma vez que as inspecções termográficas para determinar perdas de energia necessitam de um diferencial de temperaturas de pelo menos 10°C.

Já as perdas de energia por entrada de ar devem ser inspeccionadas do interior do edifício, pois as entradas de ar não são detectadas do exterior já que o ar que entra para dentro do edifício está á mesma temperatura que a superfície da estrutura. Nas perdas de energia por saída de ar, estas devem ser inspeccionadas da parte exterior do edifício.

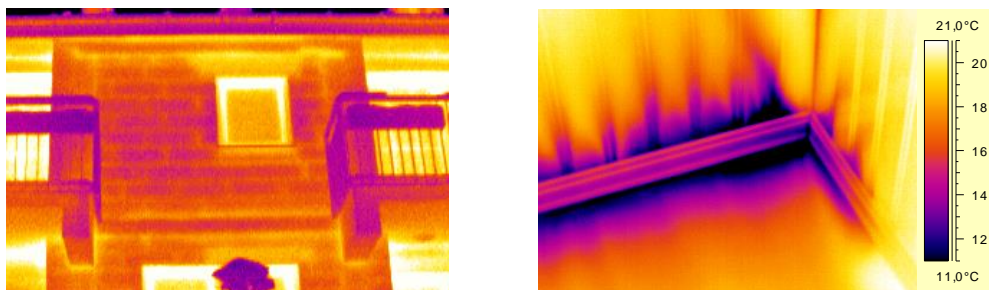


Figura 4.29 – Exemplos de perdas de energia e fugas de ar encontradas em edifícios pela Termografia.

Pode também ser realizada inspecção a sistemas de aquecimento, para permitir a identificação onde se encontram as tubagens (antes de se fazer furações para instalação de equipamentos) e para permitir verificar a sua correcta funcionalidade (detecção de fugas). A inspecção de fugas pela termografia só é possível quando o fluido estiver a uma temperatura diferente.

A Termografia em coberturas de edifícios permite a identificação de infiltrações de água e de perdas de calor. Estes defeitos geram perdas de calor, adicionam peso aos sistemas de cobertura dos edifícios e provocam falhas de componentes estruturais dos edifícios.

A garantia das coberturas é superior a 30 anos, no entanto a vida média de uma cobertura é de 8 anos. As inspeções infravermelhas nas coberturas detectam anomalias devido à infiltração de humidade ou a isolamento degradado. A medição em coberturas tem as seguintes premissas por ordem cronológica:

1º - O sol aquece a cobertura durante o dia, pelo que o isolamento seco resiste ao calor enquanto o isolamento húmido absorve e armazena o calor;

2º - A cobertura arrefece após o pôr-do-sol, pelo que o isolamento seco arrefece rapidamente enquanto o isolamento húmido permanece quente devido ao armazenamento da energia solar. O isolamento seco resiste ao fluxo de calor, dando-se esse fluxo de calor através do isolamento húmido.

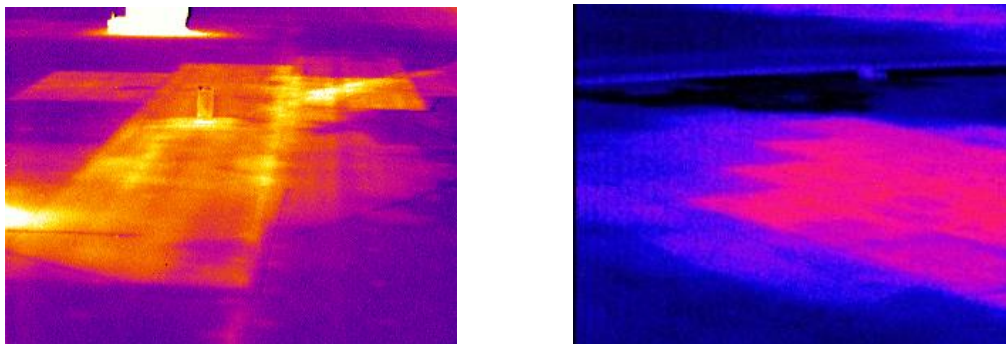


Figura 4.30 – Exemplos de defeitos de isolamento em coberturas de edifícios obtidas pela Termografia.

Como vemos, na área da construção civil, a Termografia consegue decretar várias anomalias/defeitos construtivos. Estas medições são realizadas no local por intermédio de uma câmara de termografia. Sempre que sejam avaliadas diferenças de temperatura nas superfícies a inspeccionar é recolhido, uma imagem de infravermelhos (termograma) e uma fotografia digital, de forma a identificar a anomalia e a zona correspondente. Para a realização dos ensaios neste serviço, foi necessário que fosse criado um diferencial de temperaturas de aproximadamente 10° C entre o interior e o exterior, de modo a poder evidenciar as referidas anomalias. Para tal o serviço foi realizado durante a noite, para o Hotel durante todo o dia receber carga solar, aquecendo o seu interior, ficando o ambiente exterior a uma temperatura inferior ao interior, e deste modo garantir esse requisito.

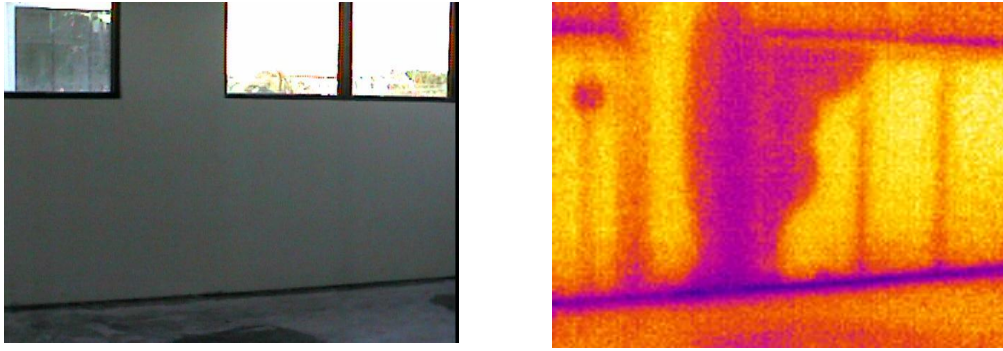


Figura 4.31 – Exemplo do que é obtido numa câmara termográfica (uma imagem real e uma imagem térmica do mesmo local).

Para o desenvolvimento das acções de inspecção foram utilizados os seguintes equipamentos de medida:

- Câmara Termográfica;
- Termo-higrómetro;
- Termo-anemómetro digital;
- Software dedicado;
- Computador Portátil.



Figura 4.32 – Exemplo de um modelo de Câmara Termográfica da FLIR

As imagens captadas pela câmara termográfica foram posteriormente transferidas para o computador portátil, através de software específico (FLIR Tools), para posteriormente serem analisadas e inseridas no relatório técnico final. Através da realização deste trabalho, foi possível, não só aplicar os meus conhecimentos adquiridos no Curso de Certificação de Nível I (ITC) em Termografia, como também concedeu a possibilidade de ter uma panorâmica geral sobre o estado das construções de edifícios em Portugal. Como vemos no relatório, detectamos erros que nunca pensamos que poderiam existir, mas que através de uma má gestão de obra e negligência por parte de alguns empreiteiros, resultam no aparecimento ao fim de alguns anos de defeitos estruturais em edifícios que, em alguns casos, são impossíveis de resolver. Felizmente que, e com a aplicação no futuro de novos Decretos-Lei, a qualidade dos edifícios em Portugal terá tendência a melhorar no futuro.

4.1.5 – Trabalhos pendentes

Aquando da redacção deste relatório haviam alguns trabalhos que estavam pendentes para serem aprovados. Dois deles eram relativos a serviços. Um era respeitante a um Serviço de Medição & Análise de Vibrações a Grupos Electrobomba em conjunto com uma Análise Termográfica aos Quadros Eléctricos em Estações Elevatórias de Água Pública. O outro serviço, era semelhante a outro já realizado de uma inspecção termográfica a um Hotel em Lisboa.

Havia ainda dois trabalhos que correspondiam a projectos de instalação de grande magnitude. Vamos de seguida descrever de forma resumida no que consistiam.

Sistema de monitorização para uma fábrica de produção de polímeros termoplásticos

Nesta fábrica foi proposto a actualização do sistema actual de monitorização de vibrações aos principais equipamentos de produção. É um projecto de grande dimensão, uma vez que inclui a configuração e fornecimento de equipamentos de monitorização permanente *on-line* com software dedicado. São sistemas de monitorização contínua de vibrações, dotados da possibilidade de definição de níveis de alarme, que quando ultrapassados podem fazer parar a máquina de um modo automático. Esperamos até ao final do ano que a empresa avance com este projecto, pois seria uma boa oportunidade para verificar todos os passos e procedimentos de configuração e planeamento de instalação de um grande projecto de monitorização.

Sistema de monitorização de vibrações para uma metalúrgica

Nesta fábrica, semelhante à proposta anterior, foi indicado um projecto de implementação para um sistema de monitorização *on-line* de alguns equipamentos que processam/modelam ferro fundido (ex: rolos mecânicos). Para esta fábrica, vamos ter de recorrer a uma configuração especial do sistema de monitorização, uma vez que estas máquinas estão sob constante *stress* e impactos/mecânicos com a entrada dos perfis de aço em fusão. Para este projecto teríamos de recorrer a alguns recursos humanos da própria B&K Vibro para configuram correctamente o sistema e os seus respectivos alarmes. Esperemos que no próximo ano, a empresa adjudique o projecto.

4.2 – Resultados obtidos e evolução

As actividades desenvolvidas na empresa passaram por objectivos previamente definidos no início do estágio, que posteriormente se alargaram a outras áreas e competências. Os objectivos inicialmente propostos passavam por:

- Obter formação técnica e especializada na área de Análise de Vibrações em máquinas, Termografia e Monitorização da Condição;
- Ministrando formação técnica;
- Contactar clientes e prestar o devido suporte técnico;
- Negociar e vender equipamentos distribuídos pela empresa;
- Realizar serviços técnicos na área das Vibrações em Máquinas e Termografia.

Estes objectivos para as actividades que iria desenvolver foram cumpridos ao longo do estágio, e foram superados, uma vez que foi possível estender as minhas áreas de responsabilidade a outro tipo de tarefas e de negócio da empresa, tais como:

- Renovação e criação de raiz de um novo *website* para a empresa;
- Elaboração de grandes projectos de monitorização de vibrações;
- Elaboração de relatórios técnicos para os serviços prestados;
- Resolução de avarias em equipamentos e *softwares*;
- Elaboração de material de marketing para promover alguns produtos/formações.

Para além de todas estas actividades e tarefas desenvolvidas, ao longo do estágio prestei auxílio a qualquer actividade inerente à empresa que contribuísse directa ou indirectamente para o desenvolvimento do negócio e o seu correcto funcionamento. Ao longo do estágio a aposta da empresa na minha formação técnica pessoal foi uma constante, o que não só contribuiu para um enriquecimento do meu próprio currículo, como me tornei num elemento mais “valioso” dentro da empresa, contribuindo para o seu correcto funcionamento e expansão do seu negócio.

Podemos então concluir que os resultados obtidos ao longo do estágio foram bastante satisfatórios. Para além do cumprimento dos objectivos inicialmente propostos, os mesmos foram superados, o que levou a uma melhor integração na empresa como um elemento efectivo.

4.3 - "Benchmarking"

Neste capítulo vamos observar os concorrentes que a empresa possui nas suas mais importantes áreas de negócio, deixando um pouco de lado a área dos serviços, por ser uma área de pouco incremento financeiro para a SPECMAN, uma vez que existem centenas de concorrentes a nível nacional. Vamos então apenas focar-nos em duas áreas, que são as de maior relevo para a empresa e que me foram “incutidas” ao longo do estágio: a área da monitorização de vibrações e a termografia. As afirmações prestadas ao longo deste capítulo resultaram de um estudo aprofundado do mercado concorrencial da empresa e de anos de experiência e contactos próximos que a SPECMAN tem no nosso mercado. Na área da monitorização de vibrações, apesar da SPECMAN ser distribuidora exclusiva a nível nacional de produtos da marca B&K Vibro, enfrenta concorrentes de outras marcas que são tão ou igualmente especializados nessa mesma área do Controlo da Condição. Em baixo iremos analisar as empresas distribuidoras oficiais desses produtos e comparar um pouco a qualidade e o tipo de serviço prestado. Já na área da Termografia, sendo a SPECMAN um de vários distribuidores oficiais da marca FLIR em território nacional, vamos analisá-los todos e comparar e diferenciar a sua influência no nosso mercado. Vamos também comparar as duas marcas concorrentes da FLIR na venda de equipamentos e enunciar os seus pontos fortes e fracos.

Para estas duas áreas vamos, não só focar-nos na parte de comercialização de produtos, como também na parte da formação certificada prestada por cada uma dessas entidades. Sendo a empresa distribuidora exclusiva dos cursos do reconhecido Mobius Institute, vamos verificar quais as outras duas marcas/institutos de formação que têm representantes em Portugal e que dão formação certificada na área de análise de vibrações.

4.3.1 – Estudo do mercado na Análise de Vibrações

Começamos então pela monitorização de vibrações, onde podemos verificar que existem quatro concorrentes chave na área de comercialização de equipamentos: a CSI (Emerson), a Bently Nevada (General Electric), a Pruftechnik e a SKF. Já na parte da formação técnica certificada, a SPECMAN tem como concorrentes: a Charlotte Technical Associates (SKF) e a Vibration Institute.

Figura 4.7 – Tabela comparativa das várias marcas presentes na área da monitorização de vibrações.

	 B&K Vibro	 SKF	 CSI (Emerson)	 Pruftechnik	 Bently Nevada (GE)
Especialidade	Sistemas de monitorização e diagnóstico de avarias em máquinas	Rolamentos	Colectores de Dados	Sistemas de alinhamento de veios	Sistemas de protecção de máquinas
Maior presença	Europa	Mundial	Europa	Europa	América e Ásia
Preço dos equipamentos	Elevado	Médio-baixo	Médio	Médio	Elevado
Qualidade dos equipamentos de monitorização	Elevado	#	#	#	#
Qualidade dos equipamentos portáteis para análise de vibrações em máquinas	Elevado	#	#	#	#
Interface dos sistemas - “User-friendly”	Média-alta	#	#	#	#
Evolução e penetração no mercado	Constante	#	#	#	#
Possui representantes em Portugal	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Centro de Formação Certificada	Acordo com a Mobius Institute	Technical Associates of Charlotte	Não tem	Não tem	Não tem

Dados internos da empresa que não podem ser facultados ao público

Vamos de seguida descrever cada uma das marcas que fazem maior concorrência com a SPECMAN e indicar o respectivo representante da mesma no nosso território nacional. Vamos também falar um pouco sobre os três institutos que fazem concorrência com a Mobius Institute na área da formação certificada em vibrações.

CSI (Emerson)

A “Emerson” é uma empresa Norte-Americana fundada em 1890 e que possui várias áreas de actividade e várias marcas associadas. Entre elas encontra-se a “CSI Technologies” que contempla produtos desde dispositivos portáteis de análise de vibrações, passando por sistemas de monitorização de máquinas. É uma marca com alguma história a nível mundial e que possui uma boa imagem em Portugal, muito por culpa dos antigos comerciais da marca que operavam no nosso território. O representante da marca em Portugal, actualmente, é a empresa “DatAnálise – Serviços e Técnicos de Manutenção, Lda.” gerida pelo professor convidado do ISEL António Afonso Roque. É uma empresa especializada na área da Manutenção Condicionada e foi fundada em 1990. Realiza também vários cursos, embora sem certificação, para todo o tipo de área pretendida dentro do Controlo da Condição, graças à experiência no ensino que o gerente possui.

BENTLY NEVADA (General Electric)

A marca Bently Nevada é uma das principais empresas “âncora” da gigante Norte Americana General Electric (GE). Fundada por Thomas Edison em 1878, a GE é reconhecida mundialmente pela excelência, inovação e imaginação para diversos produtos e serviços que abrangem uma ampla variedade de sectores na indústria por mais de 50 anos. Em certos continentes é por muitos considerada a marca líder em sistemas de monitorização da condição nas grandes fábricas, tanto *on-shore* como *off-shore*. Em Portugal, a marca não possui representantes ficando esse cargo do lado espanhol como a distribuição a nível ibérico.

SKF

A SKF é um fornecedor líder global de tecnologia desde 1907. Possuem experiência prática em mais de 40 sectores industriais desde: rolamentos e unidades, vedações, mecatrónica, serviços e sistemas de lubrificação. A SKF possui escritórios, fábricas e centros técnicos em mais de 130 países. Em Portugal têm um distribuidor local dedicado. Apenas na última década é que se lançaram no mercado da venda de produtos para monitorização de vibrações de forma portátil. Têm elevada experiência na área dos rolamentos e possuem representantes em Portugal.

PRÜFTECHNIK

A PRÜFTECHNIK surgiu em 1972 vendendo equipamentos para monitorização industrial. O salto ocorreu em 1984 quando inventaram a primeira máquina de alinhamento de veios a laser. A partir daí tem sido uma referência na área manutenção industrial conquistando bastante reputação e com um “nível alemão” de eficiência. Em Portugal não possui distribuidor local, pelo que a sua presença no nosso mercado se cinge apenas a produtos de alinhamento de veios por laser.

VIBRATION INSTITUTE (DMC)

A Vibration Institute é um instituto sem nenhum fim comercial, pretendendo apenas dissimular informação prática acerca da condição e estado das máquinas. O instituto oferece programas que incluem educação, formação, certificação, oportunidades de troca de informações de âmbito tecnológico, procedimentos, publicações e reuniões. Foi fundado em 1967 por Michael P. Blake com o propósito de dar uma organização aos cientistas, engenheiros e outros profissionais que fizesse a ponte entre os conhecimentos da indústria, partilhando informações sobre medição e análise de vibrações. Actualmente fornece cursos de vários níveis, certificados internacionalmente pelas normas ISO e ANSI. Em Portugal, a empresa distribuidora da Vibration Institute é a DMC, Lda. Esta empresa situada na margem sul de Lisboa tem como principal área de negócio, os serviços baseados em contractos prolongados de medição e análise de vibrações.

Figura 4.33 – Logótipo da Vibration Institute.



TECHNICAL ASSOCIATES OF CHARLOTTE (SKF)

A Technical Associates of Charlotte é um instituto subsidiário da SKF, tendo sido fundado em 1961 no estado da Carolina do Norte (EUA). A seu principal *core business* é o de promover serviços de manutenção preventiva e formação em análise de vibrações.

Os seus cursos estão divididos em níveis e em tipo de técnica correctiva, um pouco semelhante à configuração da Mobius Institute, e cumprem várias normativas ISO e

ANST. Para além de cursos certificados, possuem uma vasta oferta de seminários que são oferecidos aos seus clientes aquando da compra de um equipamento da SKF.

Este instituto é o principal concorrente da Mobius Institute, a nível mundial, e possui representantes em Portugal através da própria distribuidora SKF presente no nosso território.



Figura 4.34 – Logótipo da Technical Associates of Charlotte.

BINDT (British Institute of Non-Destructive Testing)

A BINDT, presente no mercado há cerca de 50 anos, é considerado um dos institutos de engenharia de maior renome a nível europeu. A sua aposta centra-se em técnicas não-destrutivas e no controlo da condição, tanto na área da formação e educação, como na investigação de novos avanços na ciência e na prática dessas mesmas áreas. Devido à ausência de normativas gerais que possam ser utilizadas em toda a Europa, a sua diversificação de mercado fica um pouco limitada.

O objectivo da empresa, depois do cumprimento de todas as regras e leis obrigatórias, será o de alargar a sua oferta a outros países, como Portugal, onde actualmente não possui qualquer referência.

Figura 4.35 – Logótipo do instituto de certificação BINDT.



4.3.2 – Estudo do mercado na Termografia

Figura 4.8 – Tabela comparativa das várias marcas presentes na área Termografia.

	 FLIR	 TESTO	 FLUKE
Especialidade	Equipamentos de Termografia	Sensores de medição fixa e portátil	Equipamentos de medição eléctrica
Preço dos equipamentos de Termografia	Elevado	Baixo	Médio
Qualidade dos equipamentos de Termografia	Elevada	#	#
Garantia das Câmaras Termográficas	10 anos no sensor e 2 nos restantes componentes	2 anos	2 anos
Interface dos sistemas - “User-friendly”	Elevada	#	#
Origem da marca	Suécia	Alemanha	EUA
Possui representantes em Portugal	Sim	Não	Não
Centro de Formação Certificada	ITC (Infrared Training Center)	Não tem	Não tem

Dados internos da empresa que não podem ser facultados ao público

Vamos de seguida descrever cada um dos concorrentes da SPECMAN que fazem igualmente distribuição da marca FLIR no nosso país e indicar as duas marcas que fazem “frente” à FLIR a nível mundial. Vamos também falar um pouco sobre o instituto concorrente do ITC na área da Formação Certificada de Termografia.

FLUKE

A Fluke Corporation, fundada em 1948, é uma multinacional subsidiária da Danaher Corporation (NYSE:DHR) e está sediada em Everett, Washington, nos EUA. A Fluke tem canais de distribuição autorizados e representantes de fabrico em mais de 100 países e é o líder mundial no fabrico, distribuição e assistência de equipamentos de medição de corrente eléctrica.

A área da Termografia surgiu nos anos 90 como forma de combate ao monopólio criado pela FLIR Systems, sendo actualmente o seu principal concorrente nesta área. Com isto, foi possível dinamizar o mercado e reduzir os preços de venda deste tipo de equipamentos, sendo que actualmente o público em geral consegue adquirir uma câmara termográfica a um preço razoável, quer para uso profissional como pessoal. No nosso mercado nacional não possui representantes, pelo que a sua concorrência é diminuta, havendo apenas a possibilidade de compra por canais de distribuição on-line a nível Europeu.

TESTO

A Testo AG tem a sua sede central na localidade de Lenzkirch, na Floresta Negra na Alemanha, e é um fabricante líder a nível mundial de tecnologia de medição fixa e portátil. A área da Termografia surgiu como forma de dinamizar a sua gama de produtos, propondo equipamentos mais baratos que permitissem a clientes com menor recurso financeiro pudessem obter este tipo de tecnologia. Tem tido um crescimento constante ao longo dos anos, oferecendo alguma concorrência às marcas FLUKE e FLIR. Não possuindo representantes em Portugal a única forma de aquisição é através de *sites* de compra europeus que tenham a distribuição da marca, sendo a sua presença no nosso mercado praticamente residual.

MRA (Instrumentação)

MRA Instrumentação, cujo capital é integralmente privado, fornece soluções de alta tecnologia nas áreas de Teste, Medição, Comunicações, Segurança, Defesa e Manutenção Preditiva desde a sua fundação em 1994. É um grupo “âncora” da gigante espanhola “Alava Ingenieros”, que possui uma dinâmica de mercado muito forte. O grupo oferece serviços de consultoria, engenharia, distribuição, formação técnica de serviços e desenvolvimento de projectos "chave na mão " em diferentes sectores como o Aeroespacial, Automação, Segurança, Defesa, Comunicações, Serviços Financeiros, Centros de Pesquisa e indústria em geral.

SENSOR CONTROL

A Sensor Control, Lda. desenvolve a sua actividade na comercialização de equipamentos e sistemas para Medição, Automação e Controle. Comercializa e fornece assistência essencialmente a equipamentos de medição de temperatura, humidade, PH, pressão e sensores de automação industrial, vendendo para vários países na Europa. Opera essencialmente na área de restauração, hotelaria, indústria alimentar (segurança e auditoria alimentar), farmacêuticas e sector industrial. A área da Termografia surgiu como complemento à sua gama de produtos a fornecer aos clientes.

POUPENERGIA

A POUPENERGIA, Lda. é uma empresa situada no norte de Portugal e que tem como principal negócio a comercialização de equipamentos de Termografia da FLIR e Instrumentos de Teste e Medição da marca EXTECH. É um parceiro estratégico para a SPECMAN, pois é o seu principal fornecedor em equipamentos da marca EXTECH.

INFRASPECTION INSTITUTE

O Infrasppection Institute é mundialmente, o mais antigo centro de formação certificada na área da Termografia. Foi fundado em 1980, tendo formado mais de 10 mil termógrafos no mundo inteiro até hoje. Foi pioneiro nesta área, não só através da formação, mas pela consultoria, suporte técnico e investigação de novas tecnologias de medição e análise. É o único centro de formação independente existente no mercado, uma vez que o ITC, seu principal concorrente, está associado à marca FLIR Systems. Possuem uma grande oferta de ensino, quer fisicamente ou através de plataformas *online*. Em Portugal não têm representantes, pelo que quem queira adquirir formação neste instituto terá de se deslocar, o que torna o ITC, o único centro de formação certificado disponível em Portugal para quem queira obter formação em Termografia.

Figura 4.36 – Logótipo do Infrasppection Institute.



5 - Reflexões e melhorias implementadas

A realização deste estágio curricular permitiu, para além de desenvolver as aptidões comerciais na venda equipamentos técnicos, ministrar e realizar várias formações e serviços aos clientes da empresa, nas áreas da Termografia e da Análise de Vibrações. Algumas dessas actividades foram descritas anteriormente, fazendo a interligação com os conhecimentos adquiridos em Engenharia Mecânica. Para a realização destas actividades, a aposta da empresa na formação técnica foi uma constante. Não só foi possível frequentar cursos de certificação internacional nessas duas áreas, como foram entregues todas as ferramentas essenciais para a autonomia, no desempenho de funções na SPECMAN. Através da realização de vários serviços, como descrito anteriormente, foi também possível conhecer várias indústrias presentes no nosso país. Para além de se aplicar e praticar técnicas de Controlo de Condição, o facto de visitar diferentes tipos de fábricas e empresas, tornavam a função mais diversificada e não tanto monótona. Assim a motivação no trabalho realizado estava sempre presente, procurando sempre maneiras de melhorar e tornar mais eficaz a realização das tarefas dentro da empresa.

O objectivo do estágio passava não só pela realização de todas as actividades incutidas há função na empresa, como também na introdução de melhorias ao bom funcionamento na mesma. Devido à grande eficácia de operações da empresa, muito devido à grande atenção ao pormenor do Eng. João Matos, as melhorias aqui faladas foram mínimas em termos técnicos. Passaram mais por uma revisão na publicidade da empresa e dos produtos para os seus clientes, numa perspectiva de tornar mais visível as marcas e tipos de serviços que efectuamos. Como eram feitas algumas reuniões para se analisar a agenda e preparar material, surgiam sempre algumas reflexões e possíveis medidas que se poderiam implementar no futuro na SPECMAN, sendo elas descritas de seguida. Algumas destas medidas e melhorias foram implementadas na empresa durante o meu estágio, sendo que outras encontram-se ainda em processo construtivo.

Aposta na Formação Certificada

Devido à existência de muitos concorrentes nesta indústria, procurou-se sempre diferenciar a SPECMAN como uma empresa de confiança e de qualidade em informação e suporte técnico dos seus produtos.

Ao longo de vários anos de actividade, verificou-se uma técnica muito simples mas eficaz de ganhar a confiança de futuros clientes, a formação de certificação internacional. Graças à distribuição do Mobius Institute no nosso país, e ao grande renome que este instituto tem na área da análise de vibrações no mundo, tornava-se fácil convencer os nossos clientes a apostarem na sua formação técnica. Isto aliado à elevada experiência e qualidade do formador, o Eng. João Pais, tornavam a experiência da formação em algo muito mais que a simples transmissão de conhecimentos. Víamos um incremento na confiança depositada na SPECMAN e notávamos que, após terem realizado o curso, os formandos sentiam uma segurança na escolha da nossa empresa e recomendação a outros clientes. Assim analisámos, a necessidade de cada vez mais apostar na oferta deste tipo de formação certificada aos nossos futuros potenciais clientes, para assim conseguirmos obter a sua confiança na escolha dos nossos produtos e serviços.

Aposta no Marketing e nas Plataformas Tecnológicas

Sendo os recursos da SPECMAN inferiores aos dos seus maiores concorrentes nesta área do Controlo da Condição, o *marketing* da empresa ficou sempre em segundo plano. No entanto a empresa é das poucas que mantém presença constante em feiras nacionais de renome, como a Tektónica/Segurex realizada na FIL todos os anos, e a EMAF (Feira Internacional de Máquinas, Equipamentos e Serviços para a Indústria) realizada de dois em dois anos no Porto. Desta forma consegue-se dar visibilidade à empresa e angariar mais clientes, ao expor a nossa gama de produtos e serviços nestes eventos. São também enviados *mailings* para os nossos clientes para dar a conhecer novos produtos e datas dos cursos técnicos que disponibilizamos.

Sendo os produtos da empresa internacionais, toda a publicidade referente aos mesmos encontra-se em inglês e formatada nos *standards* dessa própria marca, o que torna a exposição dos produtos num obstáculo a certos clientes. O que se vai procurar fazer agora ao longo dos próximos meses, é traduzir esse mesmo material publicitário para Português e formatá-lo com os *templates* da SPECMAN para tornar mais fácil a compreensão das marcas comercializadas e serviços disponíveis.

Para além deste material, serão construídos materiais publicitários (como por exemplo *roll-ups*) para disposição nas feiras e nos cursos/formações que efectuamos, para dar a

conhecer a gama de produtos da empresa. Isto aliado a uma melhoria das plataformas de contacto da empresa (como a página da empresa no *Facebook*, canal do *Youtube*, pagina do *Linkedin*, etc.) permite trazer maior visibilidade à empresa e dar a conhecer as novidades em produtos e formações que a empresa disponibiliza.

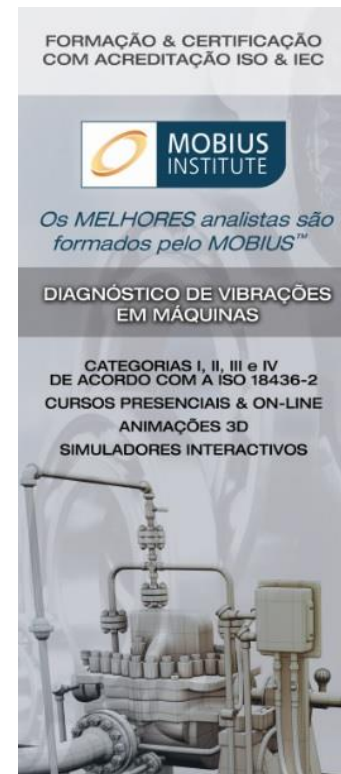
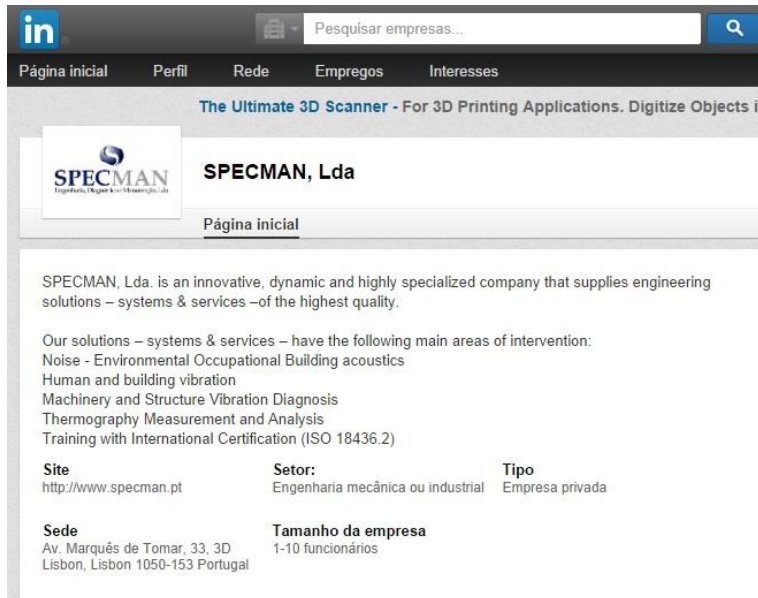


Figura 5.1 – Site da Empresa.no LINKEDIN e exemplo de Roll-up da Mobius Institute.

Aposta em Cursos Online

Na busca de novas formas de dinamizar a oferta de produtos formativos da empresa, surgiu a ideia de se criar uma plataforma (por exemplo *Moodle*) para cursos via *online*. Numa primeira fase seriam criados pequenos cursos de Termografia para Edifícios e Equilibragem de Rotores, com um elevado cuidado técnico e rigor na informação transmitida, sempre com algum conteúdo publicitário aos produtos comercializados. Caso surgisse bastante procura nos mesmos, então numa segunda fase, seria alargada a oferta de cursos a outras áreas e temas.

Com a realização de cursos pela via não presencial, para além de não consumir recursos humanos da empresa, estes mesmos poderiam ser propostos como “oferta” na aquisição de equipamentos comercializados pela SPECMAN. Desta forma os clientes ficaram mais satisfeitos e a empresa não teria de despende tempo físico para oferecer formação nestas áreas. Esta ideia ainda se encontra em construção e organização, pelo que será posta em prática apenas no próximo ano.

Satisfação dos clientes e sua Geolocalização

Foi notado, nestes meses de estágio, que a empresa não detinha qualquer índice de satisfação dos seus clientes aquando da venda dos seus equipamentos. Para além disto, o acompanhamento na venda não era feito da forma mais correcta, não havendo um *feedback* por parte do cliente para saber se tinha ficado satisfeito com o processo de compra e com o produto em si. Será posto em prática até ao final do ano, uma transformação nestes processos, para melhorar a imagem da empresa. Estas transformações passarão pela realização de inquéritos à satisfação dos clientes, acompanhamento na venda de produtos (desde a sua compra à entrega) e classificação dos produtos e da empresa em plataformas (como o *Google+*) para transmitir confiança e publicidade a outros potenciais clientes. Foi também verificado, uma deficiência, aquando da organização de reuniões e formações fora da área de Lisboa. Quando existia deslocação de recursos humanos da empresa para outras localidades em Portugal, procurava-se sempre rentabilizar a mesma reunindo-se com outros potenciais clientes dessa zona para demonstrar equipamentos e potenciar a sua venda. No entanto, a localização desses potenciais clientes era feita de uma forma morosa e não muito eficaz. O que se vai procurar fazer durante os próximos meses na empresa, é uma “geolocalização” dos clientes num mapa (através do *Google Maps*), organizados por nível de interesse. Assim, e dependendo da zona onde se encontre o cliente que nos vamos reunir, conseguíamos descobrir facilmente quais as outras empresas que se encontravam ao redor dessa área e que seria interessante combinar-se demonstrações de equipamentos. Mas, e devido ao elevado número de clientes que a SPECMAN possui, a criação dessa base de dados demorará algum tempo a ser construída. Pensamos que a rentabilização do tempo na procura de clientes por zonas geográficas, compensa em grande escala o tempo despendido para a criação dessa mesma base de dados.

Criação de Ficha de Trabalho para Serviços de Equilibragem

Quando eram realizados Serviços de Equilibragem pela SPECMAN, denotava-se que havia sempre algumas falhas na recolha de informações para posterior elaboração do relatório técnico. Embora não fossem grave, havia sempre alguma informação que ficava por anotar. Isto levou à criação de uma guia/ficha de trabalho que torna a recolha de informação da máquina e do serviço a efectuar mais eficaz e completa (Ver Anexo D). Foram inseridos os dados mais importantes a recolher e todas as formas de cálculo para as massas de correcção e de teste a serem aplicadas na máquina a equilibrar, usando como base a norma ISO 1940. Desta forma é possível consultar directamente os procedimentos e informação de equilibragem necessários para uma correcta equilibragem da máquina.

Renovação do Site da Empresa

Como analisámos anteriormente, o investimento da empresa em publicidade, era algo que se encontrava sempre em segundo plano, sendo que o seu *website* espelhava um pouco esse efeito. Apesar da antiguidade do mesmo, era bastante completo em termos informativos e na descrição técnica dos seus produtos. Mas como vivemos numa era altamente tecnológica e evolutiva, e que a cada dia se encontram novas formas de *design* e expressão da informação, a renovação do site era um ponto fulcral para melhorar a imagem comercial da empresa.

Como o investimento teria de ser mínimo, optou-se por actualizar a actual plataforma base (*Microsoft Frontpage*) para uma mais recente com melhor aspecto global e gratuita (*Google Sites*). Sendo uma plataforma gratuita *online* (onde podemos actualizar a página em qualquer parte do mundo), a configuração estética está um pouco restrita em termos de opções, pelo que foi-me requerido alguns conhecimentos adicionais de informática na óptica de programador. Devido a esta demora na construção da página da empresa e ao pouco tempo disponível, esperamos que até ao final do ano consigamos lançar este novo *website* e dar uma maior visibilidade à empresa.



Figura 5.2 – Fotografia comparativa entre o site da empresa antigo (à esquerda) e o novo (à direita).

Introdução da análise CPB nos serviços de Medição & Análise de Vibrações

Em simultâneo com a crescente adopção da Manutenção Condicionada pela Indústria, as várias técnicas por si utilizadas têm, também, vindo a evoluir. Dentro delas, a medição e análise de vibrações, é talvez a mais aplicada. Por isso mesmo, torna-se imperativo o desenvolvimento de técnicas de medida simples de usar e de interpretar, e da necessária tecnologia para a sua aplicação prática.

A implementação das técnicas de Medição & Análise de Vibrações permite a determinação da condição actual dos equipamentos, ou sistemas, através da interpretação ou análise das correspondentes assinaturas vibratórias. A aplicação destas técnicas tem o objectivo fundamental de detectar e diagnosticar avarias em máquinas/equipamentos.

Detecção antecipada da avaria:

- Medições periódicas e de rotina;
- Procedimentos simples;
- Pode ser feito por alarmes automáticos;
- Normalmente executado por um técnico.

Diagnóstico, depois da detecção, da causa da avaria:

- Medições a pedido do cliente;
- Procedimento complicado;
- Técnicas de medição avançadas;
- Executado por especialistas.

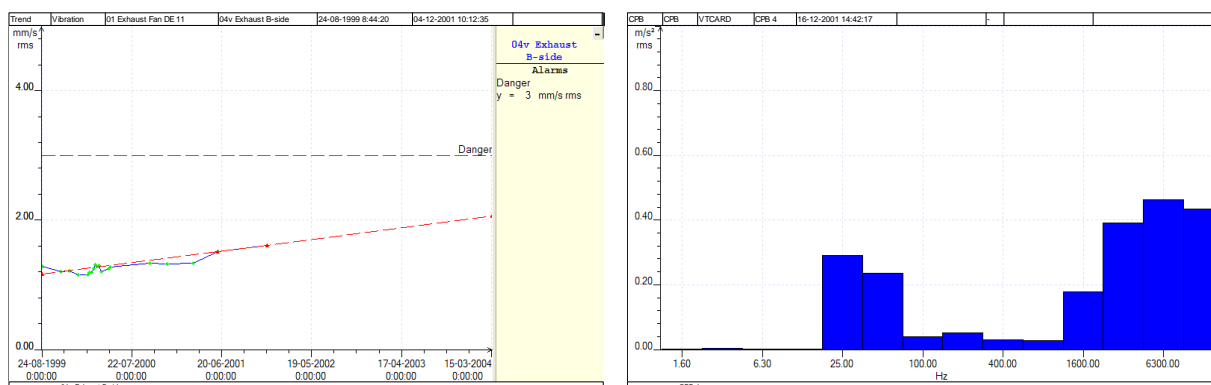


Figura 5.3 – Exemplo dos gráficos obtidos com a análise CPB para detecção de avarias.

A detecção de avarias é normalmente assegurada por software dedicado. Existem dois tipos de alarme: alerta (normalmente 8dB ou 2,5x) e perigo (normalmente 20dB ou 10x), que são configuráveis pelo utilizador. Estes alarmes podem ser escalares (curva de tendência) ou vectoriais (nível).

O diagnóstico da avaria é efectuado pelo especialista após a detecção da mesma. Existem variadas técnicas e equipamentos aos quais o especialista poderá recorrer nesta situação. As técnicas mais usadas são: espectro de frequência FFT (Figura 5.4), análise de envelope e *Cepstrum*.

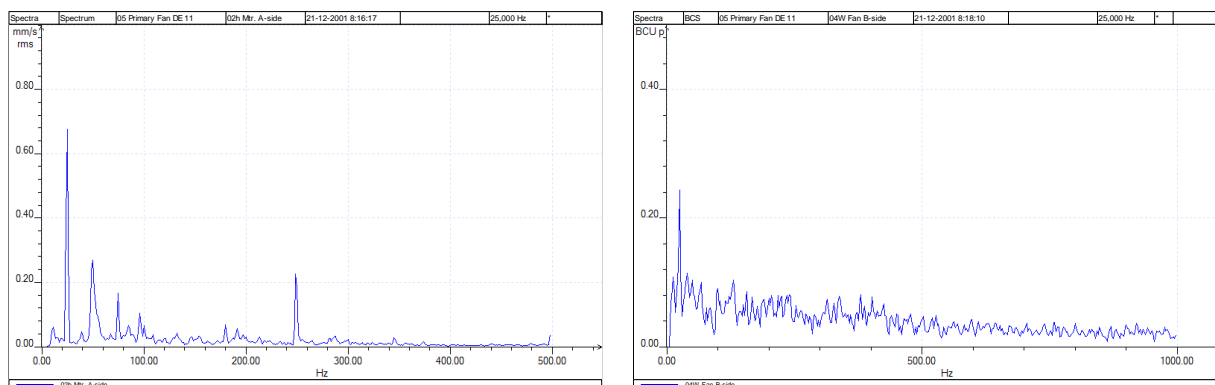


Figura 5.4 – Exemplo de espectros obtidos no diagnóstico de avarias.

Através da análise destes espectros podem ser diagnosticadas avarias do tipo:

- Desequilíbrio;
- Desalinhamento;
- Desapertos;
- Empenos;
- Folgas;
- Avarias em caixas de engrenagens;
- Avarias em rolamentos;
- Ressonâncias;
- Problemas hidráulicos e aerodinâmicos;
- Deficiências de lubrificação;
- Avarias eléctricas em motores eléctricos;
- Etc.

O Nível Global foi a primeira técnica a ser implementada na área da Análise de Vibrações, e é o indicador de monitorização da condição mais utilizado. Consiste geralmente na medição da velocidade eficaz (RMS) numa banda de frequência de 10Hz a 1kHz (ISO 10816), podendo também ser calculado em unidades de deslocamento ou aceleração, seja em pico, pico-a-pico ou RMS. Os valores obtidos são depois comparados com os respectivos valores de referência, ou com tabelas de severidade de vibração (como por exemplo a norma ISO 10816), de modo a determinar a condição relativa da máquina. O nível global fornece informação sobre o estado geral da máquina, mas não permite identificar as componentes em frequência dominantes, nem possui sensibilidade a determinadas alterações dinâmicas, como tal não permite determinar quais as fontes de vibração. Em virtude da maior parte das anomalias das máquinas se desenvolver gradualmente ao longo do tempo e porque a análise de vibrações permite a sua detecção numa fase ainda incipiente, a análise de tendência é uma metodologia altamente aconselhada a ser utilizada juntamente com a medição do nível global. Existem diferentes formas de avaliar a evolução dos níveis globais de vibração, sendo alguns dos critérios:

- Normas Internacionais; ISO 10816-1 (*International Organization for Standardization*), VDI 2056 (*Verein Deutscher Ingenieur*); BSI 4675 (*British Standard Institute*); AFNOR E90-300 (*Association Française de Normalisation*);
- Recomendações do Fabricante da máquina/equipamento;

- Comparação dos níveis de vibração de referência adquiridos na fase primária de funcionamento do equipamento.

Para o arranque de um Programa de Monitorização deverá ser utilizado a norma ISO 10816 como valores de referência para as medições e avaliações das vibrações mecânicas em máquinas. Após alguns períodos de monitorização é importante que os critérios de avaliação adoptados sejam reavaliados, através da verificação dos níveis globais de vibração médios e dos desvios obtidos, e criadas novas referências e novos alarmes. É importante ter sempre presente que estes critérios são apenas recomendações e não valores limites. Já que todas as máquinas são fabricadas de forma diferente, instaladas de forma diferente e trabalham em diferentes condições de operação (carga, velocidade, etc.).

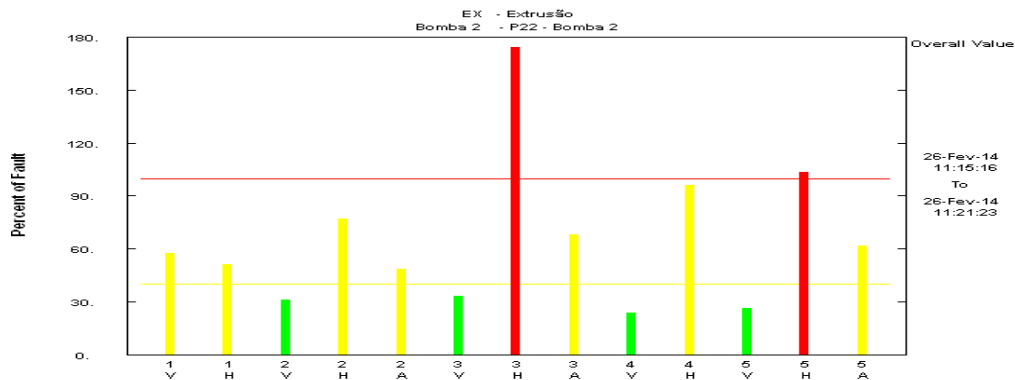


Figura 5.6 – Gráfico de exemplo, de valores de níveis globais de vibração.

É pouco realístico a avaliação da condição de uma máquina através da comparação do seu valor de vibração actual com os níveis de uma norma geral ISO ou de qualquer outra regra. Comparando os valores actuais com valores anteriores, facilmente se constata como a condição de uma máquina muda ao longo do tempo. Por isso mesmo, actualmente, esta é uma técnica muito simples de detecção de avarias, mas ainda muito usada na indústria pela sua facilidade, rapidez e custo de utilização.

Vantagens:

- Procedimento rápido e simples de aquisição;
- Investimento reduzido;
- É uma técnica para a detecção de avarias.

Desvantagens:

- Detecção de poucos tipos de avaria;
- Detecção tardia de avarias em máquinas;
- Sensibilidade limitada;
- Não é uma técnica de diagnóstico de avarias.

O espectro FFT (Fast Fourier Transform) é tradicionalmente a técnica de detecção e diagnóstico de vibrações mais utilizada. Apesar da sua óptima performance, em determinadas áreas de aplicação, os custos operacionais para a sua utilização podem ser superiores ao expectável. Tal acontece, em aplicações de controlo de condição onde existe um elevado número de máquinas. O espectro FFT apresenta uma largura de banda absoluta constante numa escala linear, ou seja, cada linha do espectro tem a mesma largura de banda, em termos de frequência, sendo obtida pela divisão da gama de frequência do espectro pelo número de linhas utilizado no cálculo do mesmo. Por exemplo, um espectro FFT numa gama de frequência de 10 Hz a 10 kHz com 400 linhas, é observado com uma largura de linha de 25 Hz ao longo de todo o espectro. Assim, a resolução do espectro FFT é constante ao longo da sua gama de frequência. No caso de ser necessário aumentar a resolução do espectro FFT, torna-se necessário diminuir a gama de frequência do mesmo ou aumentar o número de linhas do analisador, estando-se, no segundo caso, limitados pelo tipo de analisador utilizado. No entanto o espectro FFT, apesar de não ser a melhor solução para detecção de avarias, é a ferramenta ideal para diagnóstico das mesmas. Após detecção de uma avaria, poderá averiguar-se o seu estágio de desenvolvimento através do espectro FFT, ajustando-se a sua gama de frequência e o seu número de linhas, ao fenómeno em causa, comparando com gráficos “normais” de tipos avarias.

Vantagens:

- Diagnostica a maior parte das causas da avaria;
- Grande resolução em frequência;
- Técnica amplamente utilizada no mundo das vibrações.

Desvantagens:

- Não é uma técnica de detecção de avarias;
- É mais cara que o nível global;
- Exige conhecimentos técnicos mais especializados.

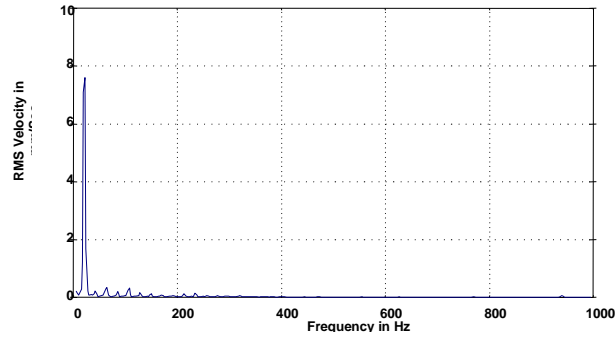


Figura 5.7 – Gráfico de exemplo, de espectro de valores vibrométricos.

Já o espectro CPB (Constant Percentage Bandwidth) permite colmatar algumas falhas do espectro FFT, sendo assim adoptado para a detecção de avarias em máquinas rotativas, pela medição de vibrações.

Vantagens:

- Permite a detecção precoce da maior parte das avarias;
- A discriminação em frequência, tanto às baixas como às altas frequências;
- Não dá origem a falsos alarmes e ligeiras variações de velocidade de rotação;
- É adequada como técnica de rotina para a detecção de avarias;

Desvantagens:

- Investimento maior;
- Não é uma técnica de diagnóstico de avarias;
- Se for utilizado um filtro com elevada resolução, o tempo de aquisição do espectro aumenta consideravelmente.

O espectro CPB é definido por um espectro em frequência, cujas bandas possuem uma largura determinada por uma percentagem constante da frequência central da banda, sendo a escala de frequência logarítmica. Os três tipos de espectro CPB actualmente utilizados são: filtro de 1 oitava (70% de banda), filtro 1/3 de oitava (23% de banda) e filtro 1/12 de oitava (6% de banda). Uma vez que a largura de cada banda em frequência é definida por uma percentagem constante da sua frequência central, observa-se então uma largura de bandas de frequência relativa, sendo essa mesma largura de banda, menor nas baixas frequências e maior nas altas frequências. Vemos então, que a escolha do filtro define a resolução da análise obtida, pois quanto menor a percentagem, maior a resolução

do espectro, mas também será maior o tempo de aquisição dos dados. Conclui-se pelas características do espectro CPB, que o mesmo permite a detecção das mais comuns avarias em máquinas rotativas de um modo eficiente, rápido e económico. A resolução relativa do espectro CPB, permite a detecção de variadas avarias através de um único espectro. Possuindo uma alta resolução nas baixas frequências, detectam-se avarias do tipo: desequilíbrio, desalinhamento, desapertos, desacoplamentos, etc., que se manifestam por vibrações harmónicas nas baixas frequências, ao mesmo tempo que, e por possuir uma resolução optimizada nas altas frequências, permite a detecção de defeitos do tipo: avarias em rolamentos, problemas de lubrificação, problemas em engrenagens, problemas nas pás de turbinas, etc., que se manifestam por sinais impulsivos periódicos ou por ruído aleatório. Estes fenómenos, por não se manifestarem como vibrações harmónicas, não surgem no espectro de frequência como picos individualizados, pelo contrário, o aumento de energia por eles causado “espalha-se” ao longo de um determinado número de componentes espectrais, podendo ser observado no espectro CPB pela sua adequada resolução nestas frequências [16].

Quando existem fenómenos de natureza harmónica nas altas frequências, como problemas em engrenagens ou em turbinas a gás, as bandas de frequência devem ser suficientemente largas para “absorver” as alterações aleatórias do sinal e ao mesmo tempo, suficientemente estreitas para detectar as componentes harmónicas do sinal. Neste último caso, deverá aplicar-se um filtro 1/12 de oitava. Conseguem-se assim, com uma única medição, despistar uma grande variedade de potenciais avarias na máquina, tornando o espectro CPB numa óptima ferramenta de detecção inicial de falhas em máquinas.

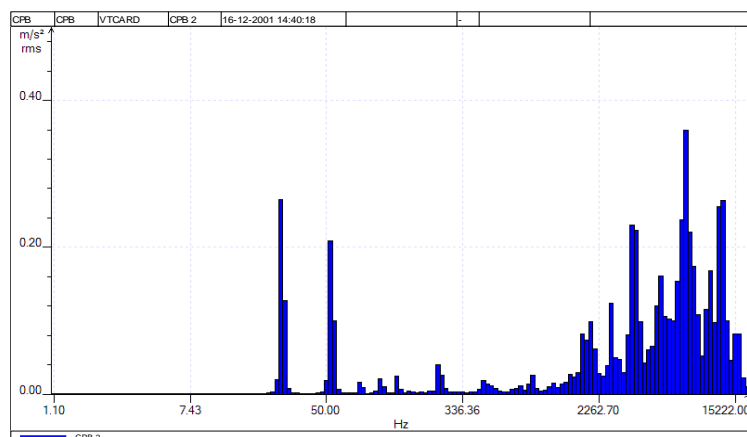


Figura 5.8 – Gráfico de exemplo, de espectro CPB.

Ao permitir a detecção das mais usuais falhas em máquinas, diminui o tempo de recolha de dados, permite uma redução na quantidade dos dados recolhidos e um aumento na capacidade de armazenamento de dados, diminuindo os custos operacionais. Permite também uma mais rápida análise dos dados recolhidos, possibilitando uma monitorização mais económica das diversas máquinas contempladas, sendo imune a pequenas variações da velocidade de rotação da máquina a monitorizar, aumentando a reprodutibilidade das medições e diminuindo a possibilidade de falsos alarmes [16].

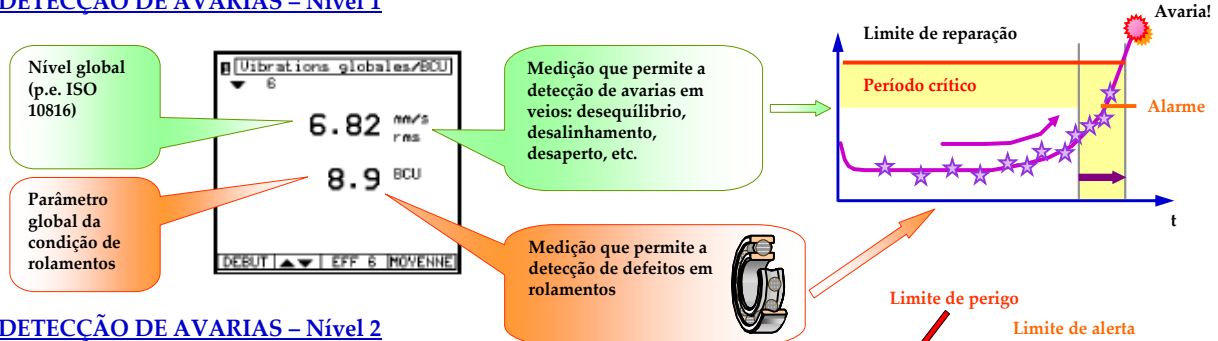
Apesar da existência de várias técnicas de detecção de avarias, pela medição de vibrações no âmbito da manutenção condicionada, facilmente se conclui que a análise CPB é aquela que mais vantagens traz para o seu utilizador. No entanto, o espectro CPB não é uma técnica indicada para o diagnóstico de avarias, havendo para tal outras técnicas melhor adequadas, tais como o espectro FFT, a análise de envelope, o *Cepstrum*, etc.

Na SPECMAN, a técnica de detecção de avarias base, era o Nível Global. Pela extensa descrição da mesma anteriormente, vemos que devido à sua rapidez de execução e fácil utilização, era uma técnica muito tentadora. No entanto, como comprovámos, é muito limitada no tipo de avarias que detecta. Parece um pouco incongruente o facto de uma empresa tão conceituada no mundo do Controlo da Condição, utilizar uma técnica tão básica como a medição dos níveis globais de vibração para detecção de avarias, mas tem uma explicação. Como na maior parte dos serviços realizados, o número de equipamentos a medir era bastante elevado, e como também os próprios clientes pediam não só a detecção como o diagnóstico das avarias dos seus equipamentos, o tempo de medição era um ponto fulcral. Das várias combinações de técnicas de detecção e diagnóstico de avarias disponíveis, a junção dos níveis globais com o espectro FFT, é a mais célere na aquisição de dados. Como procedíamos à obtenção de um espectro FFT em cada ponto de medição, estávamos sempre a salvaguardar um diagnóstico correcto de avarias das máquinas, sendo que o nível global de vibrações servia apenas como “alerta” da existência de possíveis avarias. Portanto descorava-se um pouco a detecção correcta de avarias e procedia-se sim a um correcto diagnóstico das mesmas. Claro que esta prática não é a mais correcta, uma vez que certas máquinas com níveis globais considerados normais poderiam “esconder” avarias complexas que não apareceriam nos gráficos, logo induzindo falsos alarmes sobre quais os pontos a diagnosticar. Por estas razões, e por cada vez mais os equipamentos de medição (colectores de dados), terem um *hardware* mais

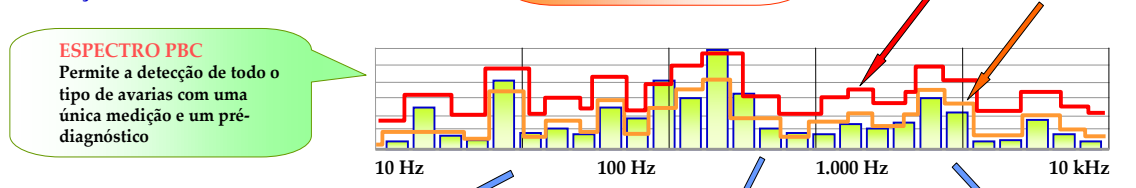
sofisticado e que lida melhor com uma grande quantidade de tráfego de dados (na aquisição dos espectros), a introdução da análise CPB foi posta em prática. Assim, nos serviços actualmente que a SPECMAN realiza, é sempre efectuada uma análise CPB (com um filtro de 1/12 oitavas) ao equipamento/máquina a medir, para desta forma ser possível detectar de uma forma mais eficiente todas as avarias possíveis e proceder à sua correcta avaliação. Claro que se nota um maior *delay* na aquisição dos dados, mas o tempo *versus* responsabilidade, tende a compensar largamente esse tempo perdido.

Vemos na Figura 5.9 como deve ser organizado uma rotina de medição de sinais vibrométricos de um equipamento, as várias fases e as várias ferramentas de diagnóstico utilizadas. Uma vez que num programa de controlo de condição de máquinas, as medições para a detecção de avarias são efectuadas sistematicamente, a utilização de uma técnica bem adequada, como a escolha da análise CPB, reflectir-se-á no sucesso do programa, garantindo o objectivo essencial da manutenção, da diminuição dos custos associados à boa manutenção das máquinas e a garantia do bom funcionamento das mesmas.

➔ **DETECÇÃO DE AVARIAS – Nível 1**



➔ **DETECÇÃO DE AVARIAS – Nível 2**



➔ **DIAGNÓSTICO DE AVARIAS**

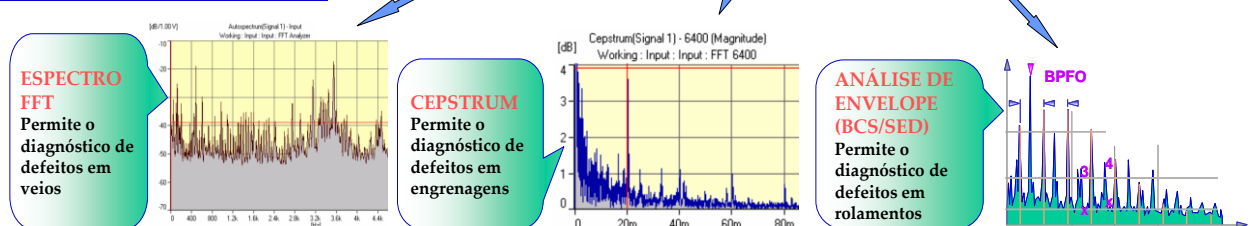


Figura 5.9 – Esquemas ilustrativos das várias fases de detecção e diagnóstico de avarias em máquinas.

6 - Conclusões

A realização deste estágio curricular na SPECMAN permitiu-me, para além de comercializar equipamentos técnicos, ministrar várias formações e realizar serviços aos clientes da empresa, obter uma experiência real em contexto de trabalho do que se faz em Portugal na área da Manutenção Condicionada. Como o objectivo fulcral deste trabalho passava pela aplicação de técnicas de Controlo da Condição, foram-me inculcadas duas dessas áreas, a Termografia e a Análise de Vibrações. Através da obtenção de formação técnica certificada e posterior transposição desses conhecimentos com várias aplicações práticas, permitiu-me verificar que tipo de falhas e avarias podiam ser detectadas e diagnosticadas, e entender a tecnologia por detrás das mesmas. Procurou-se ainda ao longo do trabalho descrever algumas das actividades mais importantes realizadas na empresa, com a descrição de alguns conceitos e procedimentos, para o leitor entender um pouco o que é feito nesta área da Engenharia Mecânica, e perceber o porquê desta ser considerada o futuro da Manutenção Industrial.

Podemos então concluir que os resultados obtidos ao longo do estágio foram bastante satisfatórios. Para além do cumprimento dos objectivos inicialmente propostos, os mesmos foram superados, resultando na aplicação de melhorias estruturais na empresa e na sua visibilidade comercial. A validação desses mesmos resultados pôde ser confirmada numa reunião recente com o meu mentor deste estágio. O mesmo mostrou-se bastante satisfeito com a minha evolução e rápida integração no “espírito” da empresa e agradeceu todo o esforço e dedicação prestados na empresa. Todo este empenho mereceu um reconhecimento, sendo então consubstancial na oportunidade de integrar a empresa como elemento efectivo, que prontamente aceitei. Considero que devido à boa adaptação e ao “gosto” pelo trabalho realizado na empresa, a pronta resposta ao convite tornou-se mais fácil, pois encontrei um local de trabalho onde sei que o esforço é recompensado e que não estou limitado nas tarefas que posso realizar. Para além de que as áreas de actuação da empresa se encontram em constante evolução e onde nos é dada muita formação técnica a título pessoal, que enriquece não só o nosso currículo, mas também o *know-how* da empresa. Actualmente na sociedade em que vivemos, oportunidades destas de trabalho já não se encontram tão facilmente, e penso que no futuro a própria universidade deveria apostar mais nesta interligação de jovens engenheiros com a indústria do trabalho.

Referências Bibliográficas

- [1] NP EN 13306: 2007 – “Terminologia da Manutenção”;
- [2] *Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance*, Cornelius Scheffer e Paresch Girdhar (2004) - First published, Elsevier, pp. 1-133;
- [3] *Gestão da Manutenção*, Amílcar Ramalho (2009) - Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra;
- [4] *Organização e Gestão da Manutenção*, José Paulo Saraiva Cabral, 5ª Edição – LIDEL;
- [5] British Standard BS 3811:1984 – “Condition Monitoring”;
- [6] *Training Course Manual for CAT II* (2008), Vibration Analyst – MOBIUS INSTITUTE;
- [7] ISO 13380: 2002 – “Condition Monitoring and Diagnostics of Machines – General guidelines on using performance parameters”;
- [8] ISO 1940: 2003 – “Balance Quality Requirements”;
- [9] ISO 10816: 2014 – “Evaluation of Machine Vibration”;
- [10] ISO 17024: 2014 – “Conformity Assessment – General requirements for bodies operating certification of persons”;
- [11] ISO 18436-2: 2014 – “Condition Monitoring and Diagnostics of Machines – Requirements for qualification and assessment of personnel” – “Part 2: Vibration condition monitoring and diagnostics”;
- [12] ISO 9712: 2012 - "Non-destructive testing - Qualification and certification of NDT personnel";
- [13] ISO 11342: 1998 – “Mechanical Vibration – Methods and criteria for the mechanical balancing of flexible rotors”;
- [14] *Fundamentals of Balancing* – Schenck Trebel Third Edition April 1990;
- [15] *Shock and Vibration Handbook* - Cyril M. Harris-Third Edition - McGraw-Hill 1988;
- [16] *Espectro PBC – Percentagem De Banda Constante* - João António Sobreiro Louro de Matos - 1.as Jornadas de Engenharia Mecânica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico da Guarda, Maio de 1999

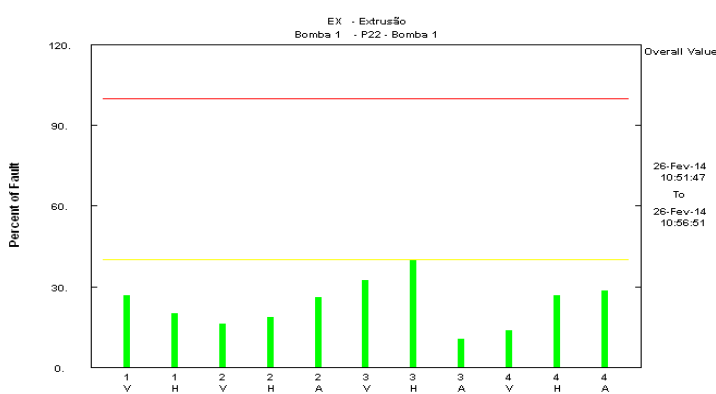
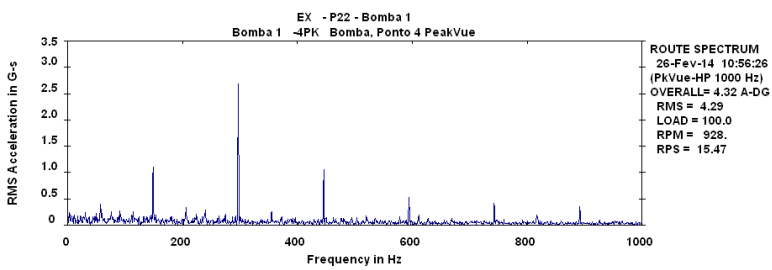
Anexos

Anexo A

Excerto do Relatório Técnico ao Serviço de Medição & Análise Vibrações a uma Fábrica de Alumínios.

EXTRUSÃO

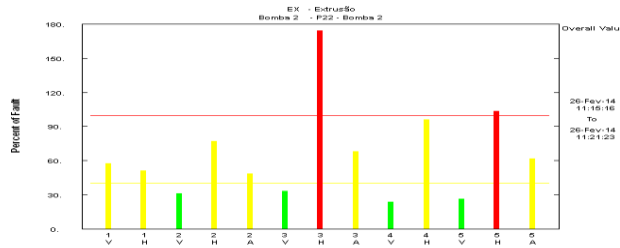
ANOMALIAS DETECTADAS E RECOMENDAÇÕES

Código/Equipamento: P22	Bomba n.º 1	Prioridade 3
Anomalia/Avaria Detectada		
<p>Os níveis vibrométricos registados no equipamento são, na generalidade dos pontos de medição e de acordo com o critério de avaliação adoptado, considerados ACEITÁVEIS, conforme se pode constatar no gráfico de barras apresentado. Relativamente à inspeção anterior foi constatado um aumento dos níveis de vibração considerado significativo.</p>		
 <p>EX - Extrusão Bomba 1 - P22 - Bomba 1</p> <p>Overall Value 26-Feb-14 10:51:47 To 26-Feb-14 10:56:51</p>		
<p>A análise espectral efectuada aos elementos recolhidos continua a revelar que os níveis de vibração são, sobretudo, influenciados pelas amplitudes da frequência pulsatória da bomba e das suas harmónicas.</p>		
<p>Relativamente aos rolamentos, foram identificadas frequências associadas a anomalias nos rolamentos da bomba, embora com amplitudes características de uma fase inicial da anomalia, conforme se pode ver no espectro apresentado.</p>		
 <p>EX - P22 - Bomba 1 Bomba 1 -4PK Bomba, Ponto 4 PeakVue</p> <p>ROUTE SPECTRUM 26-Feb-14 10:56:26 (PKVue-HP 1000 Hz) OVERALL= 4.32 A-DG RMS = 4.29 LOAD = 100.0 RPM = 928. RPS = 15.47</p>		
Recomendações:		
<p>Nota: Solicitar marca e referência dos rolamentos da bomba de forma a recomendar acções de manutenção e a realizar diagnósticos de uma forma mais precisa.</p>		

Código/Equipamento: P22	Bomba n.º 2	Prioridade 2
----------------------------	-------------	--------------

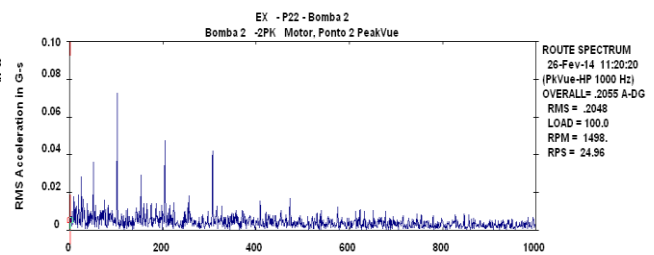
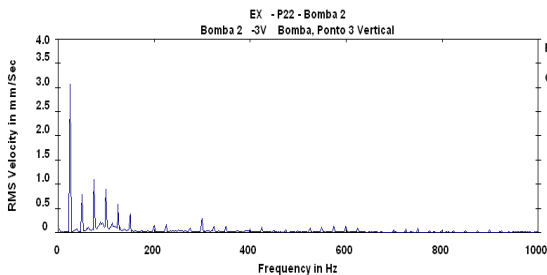
Anomalia/Avaria Detectada

Os níveis vibrométricos registados no equipamento são, na generalidade dos pontos de medição e de acordo com o critério de avaliação adoptado, considerados **SEVEROS**, conforme se pode constatar no gráfico de barras apresentado. Relativamente à inspeção anterior foi constatado um aumento dos níveis de vibração.



A análise espectral efectuada aos elementos recolhidos continua a revelar que, os níveis globais de vibração são, sobretudo, influenciados pelas amplitudes da 1.ª e 2.ª harmónica da frequência de funcionamento do grupo, conforme se pode constatar no espectro reproduzido, o que indicia sinais de desalinhamento do grupo.

Da referida análise foram ainda evidenciadas frequências que estão associadas a anomalias nos rolamentos do lado do



ataque do motor e do lado oposto ao ataque da bomba, conforme se pode constatar no segundo espectro apresentado em cima. Relativamente à inspeção anterior constatou-se uma evolução da referida anomalia.

Recomendações:

Tendo em vista melhorar a condição dinâmica do grupo recomenda-se que o alinhamento do mesmo seja verificado/corrigido.

Recomenda-se que os rolamentos da bomba e do motor sejam objecto de acompanhamento específico, num prazo máximo de 3 meses, de modo a avaliar a evolução da sua condição.

Nota: Solicitar marca e referência dos rolamentos da bomba e do motor de forma a recomendar acções de manutenção e a realizar diagnósticos de uma forma mais precisa.

Anexo B

Excerto do Relatório Técnico ao Serviço de Medição & Análise Vibrações a um Grupo Electrobomba.

E – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na *Tabela III* encontram-se sintetizados os valores dos níveis globais de vibração registados durante as medições efectuadas em 24/03/2014. No *Anexo* a este relatório, encontra-se a listagem de todos os níveis globais de vibração registados nesta inspecção.

A análise aos valores apresentados na *Tabela III* revela que, os níveis globais de vibração são, de acordo com o critério de severidade adoptado, considerados **BONS/ACEITÁVEIS**. Esta situação pode ser constatada na *Figura 2*, a qual apresenta sob a forma de gráfico de barras, os níveis vibrométricos registados em cada ponto de medição.

**Tabela III – Níveis Globais de Vibração
mm.s⁻¹ RMS (10 Hz – 1.000 Hz)**

Ponto de Medição	25/03/2014
MOTOR	
1 Vertical	1.872
1 Horizontal	0.217
2 Vertical	1.166
2 Horizontal	0.451
2 Axial	1.231
BOMBA	
3 Vertical	0.965
3 Horizontal	0.939
3 Axial	0.490
4 Vertical	0.812
4 Horizontal	0.731
4 Axial	0.547

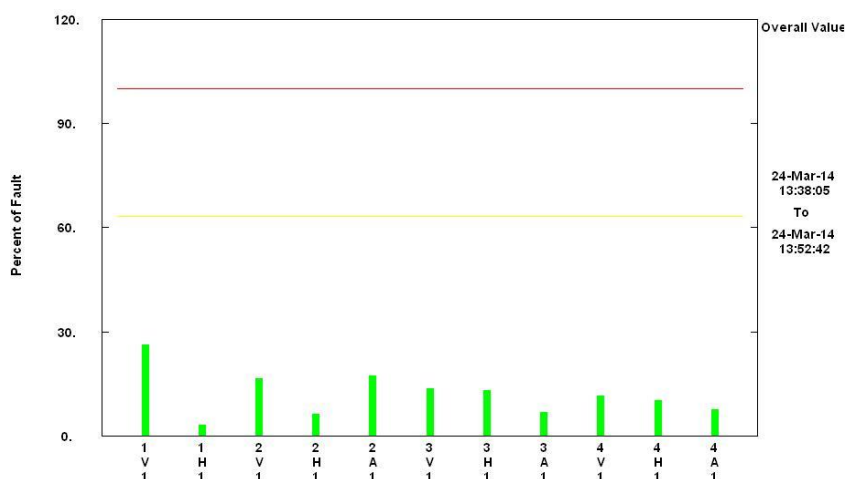


Figura 2 – Representação dos níveis vibrométricos registados.

A análise espectral efectuada aos dados recolhidos revela a presença de frequências associadas a componentes eléctricos, as quais poderão ter origem no variador de frequências, conforme se pode constatar nos espectros em cascata, respectivamente, do lado oposto ao ataque do motor e do lado do ataque do motor, apresentados na *Figura 3*.

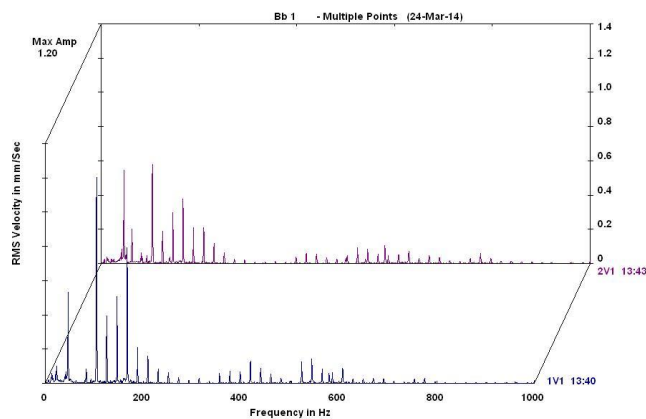


Figura 3 – Espectros de frequências obtidos no motor em 25/03/2014.

Relativamente aos rolamentos instalados no motor, a análise espectral revela frequências que podem ser associadas a anomalia do rolamento do lado do ataque com amplitudes características de uma fase inicial da anomalia, como podemos verificar na Figura 4. Dado que essas frequências são coincidentes com as frequências geradas pelo variador, a severidade da anomalia seria melhor avaliada se houver a possibilidade de alimentar o motor sem o variador de frequências e realizar nova medição.

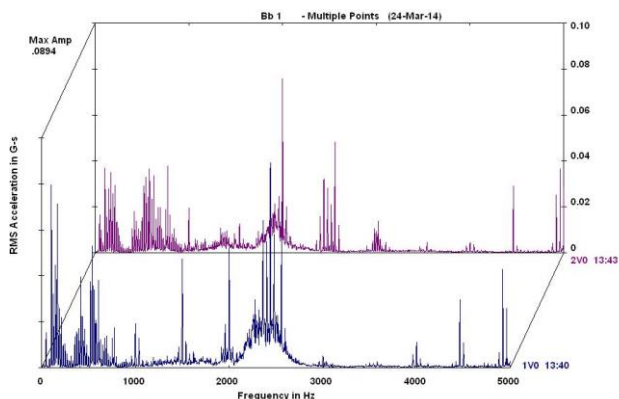


Figura 4 – Espectro de altas frequências (PeakVue) obtido no motor LA e no LOA.

Recomendações:	Prioridade:	4
<p>Face aos níveis de vibração e às amplitudes das frequências determinadas, recomenda-se que o VFD seja inspeccionado/testado e caso seja necessário o mesmo deverá ser substituído. Relativamente ao motor/bomba, os níveis de vibração recolhidos não revelam a necessidade de qualquer acção de reparação/manutenção.</p>		

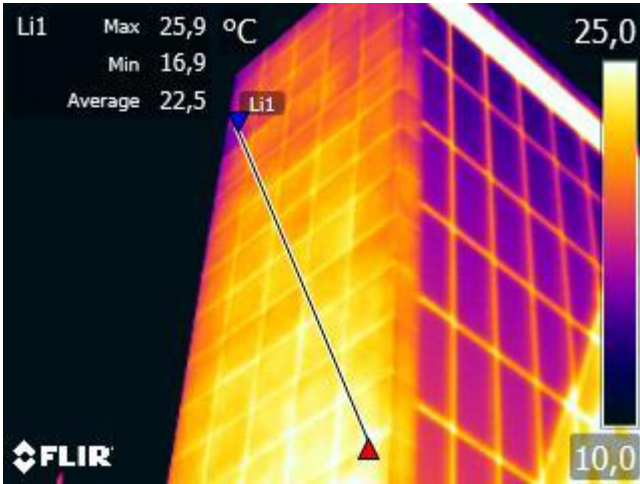

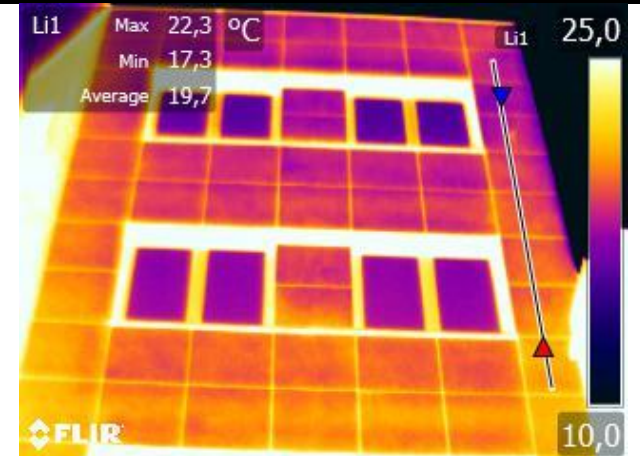
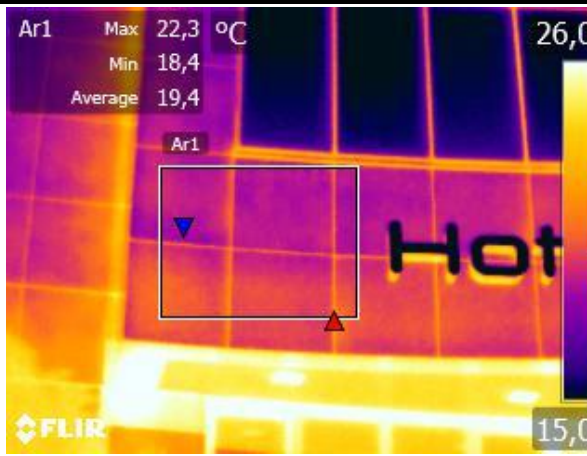
Critério de Prioridades

Nível	Descrição
1	Intervenção de Emergência (Monitorizar continuamente)
2	Intervenção Logo que Possível (Monitorizar mensalmente)
3	Intervenção Quando Oportuno (Monitorizar com mais frequência)
4	Sem Necessidade de Intervenção (Monitorizar)

Anexo C

Excerto do Relatório Técnico ao Serviço de Medição & Análise Termográfica a um Hotel.

E.2- ANÁLISE DOS ENSAIOS NA FACHADA EXTERIOR

Data/Hora	29-07-2014 / 00h17	Prioridade	-
Localização	*	Tipologia	Edifício
Local de Medição	Exterior	Fachada Principal	
Temperatura INT	26,5° C < Ti < 27,0° C	Temperatura EXT	19,5° C
Comentários/ Recomendações	A análise termográfica realizada revelou que os ladrilhos de granito existentes no exterior do edifício revelam perdas de calor elevadas nas suas juntas, o que proporciona uma via preferencial para infiltração de águas pluviais. Os termogramas revelam ainda que o calor não se apresenta homogeneamente distribuído na superfície dos ladrilhos, pelo que sugerimos a sua limpeza e eventual aplicação exterior de produto de isolamento térmico adequado.		
Termograma		Visual	
			
Termograma		Termograma	
			

E.3- ANÁLISE DOS ENSAIOS INTERIORES

Data/Hora	28-07-2014 / 22h32	Prioridade	-
Localização	*	Tipologia	Edifício
Local de Medição	Quartos 402 e 403	4.º Piso	
Temperatura INT	26,5°C <Ti< 27,0°C	Temperatura EXT	19,5°C
Comentários/ Recomendações	<p>A análise aos dados registados revela a presença de humidade nas zonas representadas pelas cores mais escuras, tendo sido inclusivamente detectado no Quarto 403 uma fuga de água através da unidade de detecção de incêndio.</p> <p>Foi ainda constatado que a zona por cima da banheira do Quarto 402, no alinhamento da estrutura do ar condicionado, apresenta zonas mais frias, as quais estão associadas à concentração de humidade. Esta situação poderá estar associada ao mau isolamento da instalação.</p>		
Termograma		Visual	
Termograma		Visual	
Termograma		Visual	

Anexo D

GUIA PARA EQUILIBRAGEM NO LOCAL

LOCAL: _____ DATA: _____

1° - Sentido de Rotação		
2° - RPM		
3° - # Pás		
4° - Raio do Ventilador		
5° - Célula – Marcar no Veio/Pás		

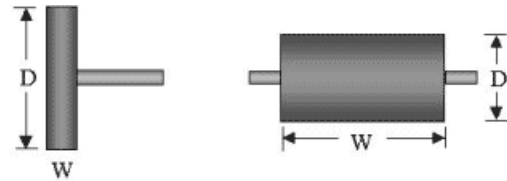
$$M_{res} = (e \times M) / r$$

e – Norma 1940 (ábaco)

M – Massa Kg

R – Raio mm

$$M_{ensaio} = M_{res} \times 5$$



$$U_{per} = (9549 \times G \times W) / (N \times R)$$

G – Grau de Equilibragem

W – Massa do Rotor Kg

R – Raio mm

N – Velocidade de Rotação (RPM)

$$\text{Ratio} = \frac{D}{W}$$

- Single Plane

$$\frac{D}{W} > 4$$

- Dual Plane

$$\frac{D}{W} < 4$$

$$W_t = 30 \times W_r / R$$

W r – Massa do Rotor Kg

R – Raio mm

Limites Grau 3:

4.5 | 6.3

7.1 | 11.8

9.0 | 12.5