

A TERMOGRAFIA APLICADA À EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DE EQUIPAMENTOS E PROCESSOS
EM CONTEXTO INDUSTRIAL DO TRATAMENTO DE
ALUMÍNIOS

Pedro Renato Machado Martins

Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Mecânica – Energia

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



Novembro de 2014

Tese da Unidade Curricular de Dissertação/Projecto/Estágio do 2º ano do Mestrado em
Engenharia Mecânica – Energia

Candidato: Pedro Renato Machado Martins, N° 1121319, 1121319@isep.ipp.pt

Orientação Científica: Eng.^a Isabel Sarmento, isp@isep.ipp.pt

Empresa: Ecoinside[®] - soluções em ecoeficiência e sustentabilidade, Lda.

Supervisão: Dr. Joaquim Guedes, joaquimguedes@ecoinside.pt

Mestrado em Engenharia Mecânica - Energia
Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto



Novembro de 2014

“uma imagem vale mais que mil palavras”

Confúcio

Agradecimentos

Quero agradecer a compreensão, o apoio absoluto e a confiança total dos meus pais, das minhas irmãs e da restante família. Por eles tenho a maior admiração e orgulho.

À minha orientadora, Engenheira Isabel Sarmento, pela disponibilidade, organização e objectividade durante a realização da dissertação. A sua experiência, académica e profissional, foram determinantes.

À *Ecoinside*, pela oportunidade de realização da dissertação em ambiente empresarial, a todos os seus colaboradores e em especial ao Doutor Joaquim Guedes, orientador na empresa, pela motivação e cooperação constante.

Aos meus amigos do Mestrado, pelo companheirismo, a entreaajuda, troca de conhecimentos e pela amizade que ficará para o resto da vida. Não esquecendo os meus amigos da Licenciatura, pelas experiências, alegrias e as noites de estudo.

Por último, mas não menos importante, à minha namorada pela cumplicidade, apoio e motivação. Obrigado por me fazeres acreditar que seria possível.

Resumo

A dissertação apresentada tem como objetivo primordial testar e validar as potencialidades da termografia na obtenção de dados para reduzir as perdas ou ganhos térmicos em equipamentos e processos, tornando-os mais eficientes.

Realizada em estágio curricular, em ambiente empresarial, na empresa *Ecoinside*, tem como caso de estudo principal uma indústria de tratamento de alumínio. O processo e os equipamentos escolhidos para o estudo foram estudados e compreendidos. Nas imperfeições detetadas foram apontadas medidas corretivas simples e de fácil execução. Mostrou-se, ainda, algumas das poupanças energéticas concedidas por essas retificações.

As capacidades da termografia foram testadas noutros ambientes, que não o industrial, pois um dos objectivos era perceber se a câmara termográfica é uma mais-valia a fornecer dados na realização de uma qualquer auditoria energética, confirmando-se que sim.

Dá-se, ainda, a conhecer os princípios por detrás da termografia e um pouco da sua história. Ainda no passado, percebem-se as razões do surgimento das auditorias energéticas antes da presente preocupação ambiental e da eficiência energética.

Palavras-Chave

Termografia, reduzir perdas/ganhos térmicos, estágio, indústria tratamento alumínio, câmara termográfica, auditoria energética, eficiência energética.

Abstract

The presented dissertation has the primordial goals to test and validate the potential of thermography in obtaining data to reduce thermal lost and gains in equipment and processes, making them more efficient.

Held in curricular internship, in corporate environment, at *Ecoinside* enterprise has the main study case an aluminum treatment industry. The process and equipment chosen to this study were studied and comprehended. Simple and easy to execute corrective measures were pointed to the flaws encountered. There were even some energetic savings, conceded by those corrective measures.

The abilities of thermography have been tested in other environments, not industrial, being that one of the goals was to realize if the thermographic chamber it's an added value to provide data when performing an energetic auditorship, conforming that it is.

Some of thermography principals and even a small part of its history is presented. The reasons to energetic auditorships, before environmental and energetic efficiency, were comprehended yet in the past.

Keywords

Thermography, reduce loss/gain of heat, stage, industry aluminium treatment, thermal imager, energy audit, energy efficiency.

Índice

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE TABELAS	XVII
NOMENCLATURA	XIX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. OBJECTIVOS	2
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1. MEDIDAS ENERGÉTICAS DA UNIÃO EUROPEIA	5
2.2. AUDITORIA ENERGÉTICA	8
2.3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA	10
2.4. HISTÓRIA DA TERMOGRAFIA	14
3. FUNDAMENTOS E TÉCNICAS DA TERMOGRAFIA	17
3.1. TRANSFERÊNCIA DE CALOR	17
3.1.1. CONDUÇÃO	18
3.1.2. CONVECÇÃO	19
3.1.3. RADIAÇÃO	20
3.1.3.1. LEI DE STEPHAN BOLTZMANN.....	21
3.1.3.2. LEI DE WIEN	22
3.1.3.3. LEI DE PLANCK	23
3.2. ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO E A RADIAÇÃO INFRAVERMELHA	24
3.1.1. ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	24
3.1.2. RADIAÇÃO INFRAVERMELHA	24
3.3. CÂMARA <i>FLUKE T127</i>	27
3.4. APLICAÇÕES DA TERMOGRAFIA	30
3.4.1. EQUIPAMENTOS TÉRMICOS	31
3.4.2. CIRCUITOS ELÉTRICOS	32
3.4.3. CONSTRUÇÃO CIVIL	32
3.4.4. AUTOMOBILISMO	33
3.4.5. PROCESSO FABRICO	34

3.4.6. VIGILÂNCIA E SEGURANÇA	35
3.4.7. METEOROLOGIA.....	36
3.4.8. MEDICINA.....	36
4. CASO DE ESTUDO	39
4.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	39
4.2. OBJETIVOS DO CASO DE ESTUDO	41
4.3. PREPARAÇÃO DA RECOLHA DE DADOS	42
4.4. RECOLHA E TRATAMENTO DE DADOS.....	43
4.4.1. "BANHOS QUENTES"	43
4.4.2. "BANHOS FRIOS".....	50
4.4.3. FORNO DE LACAGEM.....	55
4.5. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE MELHORIA DO CASO DE ESTUDO	62
4.5.1. "BANHOS QUENTES"	62
4.5.2. "BANHOS FRIOS"	64
4.5.3. FORNO DE LACAGEM.....	66
4.6. OUTROS TRABALHOS REALIZADOS NO ESTÁGIO CURRICULAR.....	70
4.6.1. OFICINA DE MECÂNICA AUTOMÓVEL	70
4.6.2. EDIFÍCIO DE SERVIÇOS DE UMA AGÊNCIA BANCARIA	73
4.6.3. EDIFÍCIO DE HABITAÇÕES E COMÉRCIO	76
5. CONCLUSÕES.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
ANEXO A	87
ANEXO B	89
ANEXO C	91

Índice de Figuras

FIGURA 1 – EXEMPLO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONDUÇÃO.	18
FIGURA 2 – EXEMPLO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO NATURAL	19
FIGURA 3 – EXEMPLO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO.....	20
FIGURA 4 – A LINHA A TRACEJADO REPRESENTA O FOCO DA EMITÂNCIA RADIANTE MÁXIMA A CADA TEMPERATURA, TAL COMO DESCRITO PELA LEI DE DESLOCAMENTO DE WIEN. 1: EMITÂNCIA ESPECTRAL RADIANTE ($W/cm^2 \cdot \mu M$) 2: COMPRIMENTO DE ONDA (μM) [20].	22
FIGURA 5 – DISTRIBUIÇÃO ESPECTRAL DA RADIAÇÃO DE UM CORPO NEGRO PARA VÁRIAS TEMPERATURAS ABSOLUTAS DE ACORDO COM A LEI DE PLANCK. 1: EMITÂNCIA ESPECTRAL DA RADIAÇÃO ($W/cm^2 \times 10^3 (\mu M)$); 2: COMPRIMENTO DE ONDA (μM) [20].	23
FIGURA 6 – ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	24
FIGURA 7 – REFLEXÃO, TRANSMISSÃO E EMISSÃO DE UM OBJECTO DETETADO PELA CÂMARA TERMOGRÁFICA.....	25
FIGURA 8 – REPRESENTAÇÃO DA MEDIÇÃO COM UMA CÂMARA TERMOGRÁFICA. 1: ENVOLVENTE; 2: OBJETO OPACO; 3: ATMOSFERA; 4: CÂMARA TERMOGRÁFICA [20].	26
FIGURA 9 – CÂMARA <i>FLUKE Ti27</i> [22].	27
FIGURA 10 – FOTOGRAFIA COM <i>FLUKE Ti27</i> COM A TECNOLOGIA <i>IR-FUSION®</i> EM MODO <i>PIP</i>	28
FIGURA 11 – ÁREA DE TRABALHO DO <i>SOFTWARE SMARTVIEW®</i>	29
FIGURA 12 – MODO DE EDIÇÃO DO <i>SOFTWARE SMARTVIEW®</i>	30
FIGURA 13 – IMAGENS TERMOGRÁFICAS DE MOTORES, VÁLVULAS E ACOPLAMENTOS [23].	31
FIGURA 14 – FOTOGRAFIAS TERMOGRÁFICAS DE CIRCUITOS ELÉTRICOS, TRANSFORMADORES, FASES [23].	32
FIGURA 15 – IMAGENS TERMOGRÁFICAS DE EDIFÍCIOS E ELEMENTOS CONSTRUTIVOS [23].	33
FIGURA 16 – IMAGENS TERMOGRÁFICAS DE VÁRIOS COMPONENTES PRESENTES NUM AUTOMÓVEL [23].	34
FIGURA 17 – PRODUTOS NO PROCESSO DE FABRICO CAPTADOS POR UMA CÂMARA TERMOGRÁFICA [23].	34
FIGURA 18 – OPERAÇÕES DE SALVAMENTO, MILITARES, POLICIAMENTO COM RECURSO À TERMOGRAFIA [23].	35
FIGURA 19 – IMAGENS DE RADIAÇÃO INFRAVERMELHA CAPTADAS POR UM SATÉLITE EM TORNO DA TERRA [23].	36
FIGURA 20 – IMAGENS TERMOGRÁFICAS DO CORPO HUMANO [23].	37
FIGURA 21 – SECTOR DE ANODIZAÇÃO DA <i>EMPRESA AL</i>	40
FIGURA 22 – ENTRADA DOS PERFIS DE ALUMÍNIO PARA FORNO NO SECTOR DE LACAGEM DA <i>EMPRESA AL</i>	41
FIGURA 23 – 1. TANQUE DE DESENGORDURAMENTO DO ALUMÍNIO COM UM ATADO DE ALUMÍNIO; 2. QUEIMADOR E CONDUTA DOS GASES DE EXAUSTÃO.....	44
FIGURA 24 – TEMPERATURAS DOS 4 “BANHOS QUENTES”.....	44
FIGURA 25 – FOTOGRAFIA <i>PIP</i> DO TANQUE DE DESENGORDURAMENTO.	46
FIGURA 26 – PERDAS DE CALOR POR EVAPORAÇÃO DA ÁGUA NUM TANQUE ABERTO E À TEMPERATURA AMBIENTE DE 27°C [25].	48
FIGURA 27 – TUBAGENS DOS “BANHOS FRIOS” DENTRO DA UNIDADE INDUSTRIAL.....	51
FIGURA 28 – TEMPERATURAS DA ÁGUA ARREFECIDA PARA PERMUTAR COM A ÁGUA DOS “BANHOS FRIOS”.	51
FIGURA 29 – MOTORES DOS 4 VENTILADORES DO FORNO DE LACAGEM.	56
FIGURA 30 – ENTRADA DOS PERFIS DE ALUMÍNIO NO FORNO DE LACAGEM.	57
FIGURA 31 – TEMPERATURAS DO FORNO DE LACAGEM.....	57

FIGURA 32 – TEMPERATURAS NOS TUBOS E NO ISOLAMENTO.....	65
FIGURA 33 - ENTRADA DO FORNO DE LACAGEM E RESPECTIVAS PORTAS.....	66
FIGURA 34 - PORTA DE ACESSO AO FORNO DE SEGURANÇA.	67
FIGURA 35 - COBERTURA NO TOPO DO FORNO DE SEGURANÇA.	68
FIGURA 36 - PORTA DE ACESSO AO FORNO DE SERVIÇO.	68
FIGURA 37 - PAREDES LATERAIS DO FORNO DE SERVIÇO.	69
FIGURA 38 - SAÍDA E ENTRADA DOS CABOS DE CORRENTE DO QUADRO ELÉTRICO.....	71
FIGURA 39 - CABEÇA DO COMPRESSOR.	72
FIGURA 40 - MOTOR DA MÁQUINA DE LAVAGEM A QUENTE.....	72
FIGURA 41 - REGISTO TOTALMENTE ABERTO.	74
FIGURA 42 - REGISTO METADE ABERTO.....	74
FIGURA 43 - REGISTO TOTALMENTE FECHADO.	75
FIGURA 44 - DOIS DISJUNTORES EM QUADROS ELÉTRICOS DIFERENTES.	76
FIGURA 45 - MOTOR DO VENTILADOR EXTRATOR COM VISUALIZAÇÃO DA CORREIA DE DISTRIBUIÇÃO.....	77

Índice de Tabelas

TABELA 1 – EQUIPAMENTOS USADOS NA RECOLHA DE DADOS.	42
TABELA 2 – DADOS RECOLHIDOS DOS “BANHOS QUENTES”	45
TABELA 3 - RESULTADOS DOS “BANHOS QUENTES” DO SECTOR DE ANODIZAÇÃO.	49
TABELA 4 - DADOS DOS “BANHOS FRIOS”	52
TABELA 5 - RESULTADOS RELEVANTES DOS "BANHOS FRIOS"	55
TABELA 6 - DADOS DO FORNO DE LACAGEM (FORNO DE SEGURANÇA E FORNO DE SERVIÇO).	58
TABELA 7 - RESULTADOS DOS "BANHOS QUENTES" COM UM SISTEMA DE COBERTURA.	64

Nomenclatura

Símbolo	Significado	Unidade
q_c''	Quantidade de calor transferido por unidade de área	W/m^2
k	Condutividade térmica	$W/m.K$
h	Coefficiente de transferência de calor	$W/m^2.K$
α	Absorção espectral	-
ρ	Reflexão espectral	-
τ	Transmissão espectral	-
λ	Comprimento de onda	μm
ε	Emissividade espectral	-
C_p	Calor específico a pressão constante	$kJ/kg^\circ C$
E	Energia	J

Abreviaturas

UE – União Europeia

OAPEC – *Organization of Arab Petroleum Exporting Countries*

SGCIE – Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia

RGEE – Regulamento de Gestão dos Consumos de Energia

PNAEE – Plano Nacional de Acção em Eficiência Energética

PNALE – Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão

CIE – Consumidores Intensivos de Energia

DGEG – Direcção-Geral de Energia e Geologia

PIB – Produto Interno Bruto

VEV – Variador Electrónico de Velocidade

ADENE – Agência para Energia

PIP – *Picture-In-Picture*

SD – *Secure Digital*

PVC – Policloroetano

1. Introdução

1.1. Contextualização

O tema da dissertação apresentada surge como proposta da empresa *Ecoinside*, num contexto de estágio curricular de 6 meses, à unidade curricular Dissertação/Projeto/Estágio do 2º ano do Mestrado em Engenharia Mecânica – Energia. A *Ecoinside – soluções em ecoeficiência e sustentabilidade, Lda.* tem como missão disponibilizar soluções de ecoeficiência, oferecendo uma irreverente estratégia de relacionamento com os clientes, onde estes são vistos como parceiros de longo termo e onde a empresa se assume como o departamento de ecoeficiência e biodiversidade.

Pretende-se perceber de que modo uma câmara termográfica, a termografia, pode ajudar a diagnosticar perdas ou ganhos térmicos que se eliminados contribuem para uma redução de consumos. Sabendo que todos os objetos emitem radiação, e têm uma temperatura associada, é importante perceber o seu correto funcionamento para detetar possíveis anomalias. A termografia tem muitas vantagens, permite recolher as temperaturas de objetos em movimento e de difícil acesso, rapidez na medição de temperaturas, não interfere com o funcionamento do equipamento ou processo, alta precisão. As desvantagens também estão presentes, desde logo a diferente emissividade das superfícies dos materiais a medir, a necessidade de calibrar a câmara termográfica e/ou corrigir no

software disponível para computador. Sendo que uma má calibração/correção pode induzir resultados deficientes bem como conclusões erradas. Precavendo-se as desvantagens, esta tecnologia tem uma forte implementação na manutenção no sector da indústria e cada vez mais no comércio e serviços. Será possível, com o recurso à termografia, detetar mais facilmente/rapidamente possíveis avarias ou anomalias? Inesperadas variações de temperatura podem apontar para uma falha de montagem, de um componente, de fabricação ou de dimensionamento incorreto. Sabe-se que temperaturas desmesuradas figuram antes da falha, a título de exemplo, em motores elétricos ou de combustão, componentes electrónicos, condutores elétricos, em que a capacidade operacional diminui com a alteração da temperatura. A termografia é, também, uma ferramenta poderosíssima na realização de auditorias, contribuindo com rapidez, precisão, e facilidade.

1.2. Objectivos

O objectivo principal do estágio/dissertação passa por conhecer as potencialidades de uma câmara termográfica na detecção de anomalias em equipamentos e processos através da análise das temperaturas associadas aos seus funcionamentos. A redução do consumo energético e o aumento da eficiência processual são claramente o grande objetivo final. Pode-se alcançar esses objetivos, minimizando perdas ou ganhos térmicos (dependendo do sistema em análise) através de mudanças simples nos equipamentos ou apenas reformular comportamentos nos processo envolvidos.

Haverá, também, a preocupação de perceber como a câmara termográfica ajudará no processo de avaliação do correto funcionamento dos equipamentos e procedimentos (ao nível das suas temperaturas funcionais típicas). Fornecer dados com rigor para uma auditoria energética é outro dos objetivos. A *Ecoinside*, sendo uma empresa de ecoeficiência e sustentabilidade, realiza auditorias energéticas. Pretende-se assim perceber se a câmara termográfica é uma mais-valia a fornecer dados numa auditoria energética, bem como à fiabilidade e rigor dos dados recolhidos. Pretende-se, ainda, dar resposta a avarias comuns com soluções, para a resolução dos problemas detectados, e indicar possíveis avarias, manutenção preditiva.

A familiarização com o *hardware* e o *software* da máquina termográfica é também um desafio mas certo que será facilmente ultrapassado. O restante trabalho passará por recolher informação e bibliografia correspondente aos assuntos em estudo, assim como conhecer e dominar os conceitos da termografia.

O caso de estudo, da dissertação, tem como base uma indústria de tratamento de alumínio onde serão aplicados os objectivos anteriormente propostos. Outras empresas, clientes da *Ecoinside*, também serão alvo de estudo.

2. Estado da Arte

2.1. Medidas energéticas da União Europeia

A União Europeia (UE), há vários anos que tem um papel fundamental, legislativo e vinculativo, no que toca a metas energéticas e climáticas. Esta preocupação energética e climática surgiu devido ao aumento de temperaturas, fusão dos glaciares e dos casos extremos de seca e inundações súbitas. O clima está a mudar rapidamente, e a UE em 2007 lançou um pacote de medidas com metas a atingir em 2020 no campo da energia sustentável e alterações climáticas, conhecido como “20-20-20”. As metas, promulgadas em 2010, assentam em três pontos principais [1]:

- Redução em 20% nas emissões de gases com efeito de estufa em relação a níveis de 1990;
- Aumentar a quota de consumo a partir de fontes renováveis para 20%;
- Melhorar em 20% a eficiência energética.

O cumprimento dos três pontos acima referidos carece de uma abordagem integrada na política energética, apontando combater as alterações climáticas e aumentar a segurança energética da UE bem como reforçar a sua competitividade. Pretende-se uma Europa com um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo. Reconhece-se que o combate às

alterações climáticas e de energia contribuem para a criação de empresas, emprego e um crescimento “verde” com base na sustentabilidade. Para atingir os objectivos em 2020 estima-se, que para o cumprimento da 2ª meta apresentada, aumentar a quota de consumo a partir de fontes renováveis para 20%, possa ter um efeito de criação de 417 000 novos postos de trabalho. Com a melhoria em 20% da eficiência energética prevê-se que impulse cerca de 400 000 novos empregos [1].

Sendo a eficiência energética uma componente fundamental na política energética europeia, a UE lançou em 2011 o “Plano de Eficiência Energética”. Este plano destina-se a promover uma economia que respeite os recursos do planeta, a implementação de um sistema de baixa emissão de carbono, melhorar a independência energética e reforçar a segurança no abastecimento energético. Para alcançar os objectivos apresentados, a Comissão Europeia propõe agir em diferentes níveis. Um dos objectivos é promover o baixo consumo de energia por parte dos edifícios, visto que este sector é responsável por quase 40% do consumo final de energia na Europa. Para promover, eficazmente, um abaixamento do consumo de energia neste sector, a formação de arquitetos, engenheiros e técnicos deve ser adaptada com vista à eficiência energética nos edifícios. As empresas ESCO são uma parte fundamental neste processo, podendo dar assistência financeira para modernizar edifícios com vista à redução do seu consumo de energia. A comissão pretende também desenvolver a indústria europeia, incentivando a novas capacidades de produção e novas práticas de substituição de equipamentos antigos. É importantíssimo existir um modelo para uma eficaz recuperação das perdas de calor das redes elétricas e produção industrial, e valorizar e implementar sistemas a cogeração e de produção descentralizada de energia. As auditorias energéticas devem-se tornar obrigatórias para pequenas e médias indústrias, neste caso. O sector dos transportes, como um dos grandes consumidores europeus de energia, representa uma fatia de 32% do consumo final de energia. A melhoria do serviço de transporte pode passar pelo controlo do tráfego em todos os tipos de transportes, por exemplo. Tendo em conta estas propostas, e outras, as melhorias no plano da eficiência energética são substanciais. O bom trabalho está a fazer bons progressos no sentido de cumprir os objectivos climáticos e energéticos para 2020 [1].

Os líderes da UE entenderam que era necessário criar um novo quadro de políticas para 2030 integradas nos objectivos traçados para 2020. O panorama apresentado em Janeiro

de 2014 aponta para um caminho contínuo de uma economia de baixas emissões de carbono. Foca-se na construção de um sistema de energia sustentável, competitiva e, também, na garantia de energia a preços comportáveis para todos os consumidores. Outro dos objectivos é aumentar a segurança de abastecimento energético, ou seja, reduzir a dependência de importação de energia e a criação de novas oportunidades de negócio e de criação de emprego [1].

A redução das emissões de gases de efeito de estufa surge como meta central a atingir em 2030, tendo uma diminuição em 40% face aos níveis de 1990. O alcance desta meta será um bom indicador para a UE visto que o objectivo para 2050 será uma redução de pelo menos 80% face ao ano em comparação. Para alcançar a meta de 2030 os sectores abrangidos pelo sistema de comércio de emissões da UE, sistema que abrange mais de 11000 estações de energia e unidades industriais em 31 países bem como as companhias aéreas, terá que reduzir as suas emissões em 43% em relação a 2005. Os restantes sectores não abrangidos terão de reduzir as emissões em 30%, também, face a 2005. Estes esforços de redução serão divididos equitativamente entre todos os estados membros [1].

As energias renováveis estão, cada vez mais, a desempenhar um papel fundamental na transição do consumo num sistema de energia competitiva, sustentável e segura. A Comissão propõe que, pelo menos, 27% da energia consumida seja de fontes renováveis até 2030. É necessário criar uma meta alta para que haja um investimento contínuo no sector, contribuído para a criação de emprego e de crescimento económico. Visto que as fontes de energia renováveis têm distribuição e relevância diferentes nos Estados-Membros, a UE dá a flexibilidade de transformar o sistema energético de uma forma adaptativa às circunstâncias e preferências nacionais [1].

A Comissão sugere ainda um conjunto de indicadores chave para a avaliação do progresso ao longo do tempo e, sempre que necessário, fornece uma base factual para a ação política. Esses indicadores referem-se à diferença de preço de energia dos principais parceiros comerciais, à diversificação da oferta e dependência de fontes de energia interna e à capacidade de interligação entre os Estados-Membros. O quadro para 2030 propõe uma nova estrutura de governação com base em planos nacionais para uma energia competitiva, sustentável e segura. Os planos preparados pelos Estados-Membros devem ter uma abordagem comum de modo a garantir uma coerência ao nível da União Europeia. Os líderes da UE concordaram, na reunião do Conselho Europeu, 20-21 de

Março de 2014 a tomar uma decisão final sobre o quadro final a apresentar, o mais tardar, em Outubro de 2014 [1].

2.2. Auditoria Energética

Ainda que a consciência ambiental seja recente, a problemática energética, por diferentes razões, surgiu há já 4 décadas. Em Outubro de 1973, no Médio Oriente, sucedeu-se mais um conflito militar entre Israel e alguns países árabes (Egito, Síria e Iraque). O confronto durou 20 dias, de 6 a 26, ficando conhecido como a Guerra de Outubro. Uma das consequências da guerra, para além da crise económica, social e política, foi a crise do petróleo. A *Organization of Arab Petroleum Exporting Countries* (OAPEC) resolveu boicotar o abastecimento de petróleo aos Estados Unidos e aos países europeus que apoiavam Israel no quarto conflito Israelo-árabe. Esta medida, por parte da OAPEC, agravou a crise económica e desencadeou uma crise energética a nível mundial [2]. Face a esta crise, percebeu-se que era necessário cortar nos gastos energéticos e assim as auditorias energéticas surgiram. No início dos anos 80, as auditorias energéticas foram aparecendo com mais frequência, sobretudo aplicadas a contextos industriais, e tendo sido catapultadas pelos custos energéticos crescentes [3]. Porém o interesse nas auditorias energéticas aumentou na última década, isto em consequência da percepção do impacto humano no aquecimento global e nas mudanças climáticas. As auditorias energéticas também se tornaram populares devido aos incentivos financeiros para os proprietários, bem como por obrigações legislativas. É agora conveniente definir o conceito que rodeia a expressão auditoria energética. Entende-se que é a análise sistemática dos fluxos de energia num sistema particular, visando detalhar as perdas e a traçar um programa racional de consumos energéticos [4]. É um levantamento e análise crítica das condições de utilização da energia com vista à detecção de oportunidades de racionalização energética, através de medidas com uma viabilidade técnico-económica atrativa, mantendo o mesmo nível de produção e/ou de conforto. As auditorias energéticas tornam-se indispensáveis para contabilizar os consumos de energia, dispor de dados para tomar decisões, otimizar os procedimentos, caracterizar e quantificar as formas de energia utilizadas bem como a sua estrutura de consumo. É oportuno também relacionar o consumo de energia com a produção e/ou a ocupação, no caso dos edifícios. As auditorias

podem ser requeridas pelas entidades interessadas em reduzir os custos energéticos ou obrigadas pela legislação em vigor [5].

A forma de proceder à análise do consumo energético dum edifício ou indústria pode revelar-se de uma complexidade muito diversa. Acontecendo que todas elas devem englobar um conjunto de ações:

- Caracterização do funcionamento do edifício e/ou do processo, no caso das indústrias;
- Informação relativa aos consumos energéticos;
- Análise de resultados;
- Proposta de melhorias.

Conhecer o funcionamento, bem como a sua caracterização é fundamental para avaliar o edifício ou indústria. Após essa primeira fase de caracterização, há uma fase de preparação da auditoria, seleccionando os equipamentos de medição necessários para a auditoria, procurando a máxima fiabilidade dos dados recolhidos. Assim, a análise dos dados recolhidos durante o período de auditoria, possibilita obter uma caracterização detalhada do comportamento do sistema a auditar. A informação alusiva aos consumos é determinante na análise dos resultados e, conseqüentemente, na proposta de alterações. O grau de análise que pode ser efectuado depende do nível de informação obtida. Uma informação genérica não permite uma análise detalhada, e não garante que sejam tomadas as medidas mais económico-eficientes para a redução do consumo energético. Tendo a informação detalhada do comportamento do sistema, deve-se proceder ao tratamento dos dados recolhidos. Esses dados devem ser comparados com os dados de preparação da auditoria, verificando eventuais desvios e/ou a existência de consumidores de energia não analisados [5]. Segue-se a fase em que se propõem medidas de poupança do consumo de energia especificando quanto custará, o tempo do retorno do investimento e poupanças do consumo energético.

Como foi referido, as auditorias energéticas podem ser implementadas através de legislação em vigor. Portugal não é exceção, assim e citando o sítio da internet do SGCIE (Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia) sendo a ADENE (Agência para

a Energia) a gestora operacional do SGCIE, “No âmbito da Estratégia Nacional para a Energia, foi publicado o Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de Abril, que regulamenta o SGCIE – Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia. Este Sistema aplica-se às instalações consumidoras intensivas de energia com consumos superiores a 500 tep/ano, resultando da revisão do RGCE- Regulamento de Gestão dos Consumos de Energia, uma das medidas constantes do PNAEE – Plano Nacional de Acção em Eficiência Energética.

Este diploma, para além de estabelecer um regime diversificado e administrativamente mais simplificado para as empresas que já estão vinculadas a compromissos de redução de emissões de CO₂ no quadro do “Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão” (PNALE), define quais as instalações consideradas “Consumidoras Intensivas de Energia” (CIE), alargando o âmbito de aplicação do anterior regulamento (RGCE) a um maior número de empresas e instalações, com vista ao aumento da sua eficiência energética.

O SGCIE prevê que as instalações CIE realizem, periodicamente, auditorias energéticas que incidam sobre as condições de utilização de energia e promovam o aumento da eficiência energética, incluindo a utilização de fontes de energia renováveis. Prevê, ainda, que se elaborem e executem Planos de Racionalização dos Consumos de Energia, estabelecendo acordos de racionalização desses consumos com a DGEG (Direcção-Geral de energia e Geologia) que, contemplem objectivos mínimos de eficiência energética, associando ao seu cumprimento a obtenção de incentivos pelos operadores (entidades que exploram instalações CIE).” [6]

2.3. Eficiência energética na Indústria

O mundo vive na busca incessante da eficiência. Nas mais diversas áreas da sociedade, na engenharia, na medicina, na política, na tecnologia, nos negócios, todos procuram a máxima eficiência. Essa eficiência pode passar por novas invenções ou, o mais comum nos nossos dias, pela optimização. Por isso a eficiência energética é um termo recorrente, quer numa habitação, num edifício de serviços ou no sector industrial. A eficiência energética também pode ser denominada de utilização racional de energia.

A indústria é responsável por cerca de um terço do consumo final de energia no mundo, e essa fatia continua a crescer. Se por um lado a eficiência energética tem vindo a melhorar constantemente, por outro lado verifica-se uma constante penalização da crescente industrialização mundial [7]. Por isso as entidades políticas estão a fazer esforços, através de incentivos financeiros, estruturais e legislativos, para que a redução dos consumos seja uma realidade. Torna-se assim importante uma gestão de energia rigorosa, o que envolve a monitorização sistemática, a análise e o planeamento da utilização de energia, permitindo às empresas melhorar o desempenho energético e a redução da fatura energética [7].

Definindo, a eficiência energética é uma forma de gerir e restringir o crescimento do consumo de energia, algo é mais eficiente energeticamente se oferecer mais serviços/produtos para o mesmo consumo de energia, ou os mesmos serviços/produtos para um menor consumo de energia [8]. Com a redução da energia consumida ou pela geração de mais “trabalho”, os custos de produção ou prestação de serviços diminuem. É a situação em que todos ganham.

O indicador de eficiência energética global de um país é dado pela intensidade energética. O que é a intensidade energética? É a incidência do consumo de energia final sobre o PIB (Produto Interno Bruto). Quanto menor for a intensidade energética, maior é a eficiência energética de uma economia/produto [9]. Portugal, infelizmente, tem uma elevada intensidade energética, mas nos últimos anos tem vindo a diminuir com vista a aumentar a competitividade económica do país. Uma economia caracterizada por uma alta dependência da importação de energia primária, cerca de 85% da energia total necessária, predominando o petróleo [10]. Assim numa economia dependente do petróleo fica-se exposto à variação do preço do mesmo nos mercados internacionais, condicionando o crescimento nacional e verificando-se até uma perda de competitividade das empresas portuguesas. A nível ambiental o cenário não é melhor, pois a emissão excessiva de dióxido de carbono e outros gases de efeito de estufa, é um dos principais corolários da falta de eficiência no consumo de energia da dependência dos combustíveis fósseis [10].

Como foi referido, existem planos e incentivos à redução dos consumos tendo em vista uma maior eficiência energética. Portugal segue no mesmo caminho, existindo legislação para o cumprimento da redução da intensidade energética como referido no ponto 2.2. Para alcançar bons resultados é necessário saber o que se pode melhorar. Assim a

ADENE publicou um manual de medidas a implementar para melhorar a eficiência energética numa indústria, intitulado “*Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa: Um Enquadramento Tecnológico Sucinto*”. Há a preocupação de apontar medidas transversais e específicas para os mais variados sectores industriais como a cerâmica, siderurgia, têxtil, vidro, alimentação e bebidas, pasta e papel, entre outros.

Será mais importante ter em conta as medidas transversais, ou seja, comuns a quase todos os sectores da indústria. Nessas medidas temos [10]:

- Sistemas acionados por motores eléctricos;
- Produção combinada de energia mecânica e energia térmica;
- Iluminação;
- Eficiência do processo industrial;

No primeiro ponto existem vários sistemas acionados por motores eléctricos numa indústria, desde sistemas de bombagem, passando pelos de ventilação e os sistemas de compressão de ar, entre outros. Sendo que dentro destes sistemas existem correções específicas, uma comum a todos eles é a optimização dos motores. Os motores eléctricos são equipamentos destinados a transformar energia eléctrica em energia mecânica, que podem ser alimentados com corrente contínua ou alternada (síncronos ou assíncronos). Sendo estes últimos os mais utilizados (corrente alternada), dado que o seu custo é mais reduzido. Os motores síncronos funcionam a uma velocidade fixa não importando a carga aplicada, os motores assíncronos ou de indução funcionam normalmente a uma velocidade constante que varia com a carga aplicada ao eixo. O que acontece frequentemente é que estes motores não se encontram devidamente dimensionados para a função que desempenham. Para aumentar a eficiência dos sistemas acionados por motores eléctricos, têm sido aplicadas algumas tecnologias que permitem a optimização do trabalho do motor. Começando pelos motores de alto rendimento, pela aplicação de variadores electrónicos de velocidade (VEVs) e o melhoramento dos sistemas de transmissão mecânica. Destas tecnologias destaca-se a utilização dos VEVs, com vários estudos apontando como a medida de maior potencial na poupança directa de energia. Face ao sobredimensionamento, será benéfico para o desempenho global do motor se a velocidade

se ajustar às cargas ou necessidades requeridas. Surge assim como a opção mais rentável na otimização dos motores de indução. A aplicação de um variador electrónico de velocidade pode gerar economias até 50% de energia, numa média de 22,5%. Além da questão da redução dos consumos, os VEVs trazem outras vantagens como o aumento da duração do motor, redução dos picos de potência durante o arranque, a possibilidade de ser instalado nos mais diversos sistemas que utilizem motores, etc [10].

Na produção combinada de energia mecânica e energia térmica surge logo à cabeça a cogeração (produção de calor e eletricidade), mas também a recuperação de calor dos equipamentos, entre outros. A cogeração é a produção sequencial e simultânea de energia térmica e energia mecânica, usualmente usada para produzir eletricidade a partir de uma fonte de energia primária. Nas centrais termoelétricas convencionais, a energia de perdas anda à volta dos 65%, ou seja, perde-se através dos gases de combustão e nas operações de condensação e arrefecimento do ciclo termodinâmico. Porém na cogeração essas perdas caem para os 15%, pois 50% das perdas são reaproveitadas como energia térmica. Mais um exemplo significativo de eficiência energética. O gás natural surge como o mais utilizado para a cogeração, pois é tecnologicamente mais fácil de aplicar e menos nocivo para o ambiente. Mas quase todos os tipos de combustíveis podem ser usados na cogeração, sendo que a biomassa aparece como a grande alternativa. Na indústria a cogeração traz muitas vantagens como a redução da fatura energética, eventualmente a unidade industrial pode ser energeticamente autossuficiente, possibilidade de venda de eletricidade à rede, redução dos custos de produção, etc. Presentemente existem unidades de cogeração preparadas para gerar energia com potências térmicas elétricas entre 1kW (kilowatt) e os 500 MW (megawatt) durante, pelo menos, 20 anos [10].

No terceiro ponto surge a iluminação e a energia elétrica consumida por ela, representando cerca 25% em todos os sectores (indústria, serviços e doméstico). A iluminação eficiente foi dos grandes estandartes na redução dos consumos elétricos em todos sectores, estando todos consciencializados da sua importância. É um campo de fácil melhoramento, com resultados imediatos e retornos de investimento aceitáveis. Na indústria representa cerca de 5% do consumo global de energia. Hoje em dia têm-se a preocupação de instalar equipamentos que garantam os níveis de iluminação necessários e recomendados para as diferentes atividades de trabalho. Há ainda preocupações em aproveitar a iluminação grátis, ou seja, dar prioridade à iluminação natural. É importante

manter estas entradas de luz limpas, aumentando a eficiência de iluminação das mesmas. É importante utilizar sempre equipamentos de elevado rendimento, desde as lâmpadas, às luminárias e os acessórios. A utilização de sistemas de controlo automático nas instalações de iluminação é um factor a ter em consideração, como a regulação de intensidade luminosa [10].

A eficiência do processo industrial abrange várias vertentes do funcionamento de uma indústria. A manutenção dos equipamentos surge como “cabeça de cartaz” quando se fala da eficiência do processo industrial. É de extrema importância ter um plano de manutenção periódica e preditiva. Com um bom plano de manutenção reduz-se drasticamente as falhas e paragens no processo industrial. Depois passa por monitorizar o processo/produto e o respetivo controlo. É importante conseguir acompanhar em tempo real o que se passa numa indústria, podendo assim detetar rapidamente falhas no processo produtivo. A sensibilização e formação de recursos humanos têm-se revelado com uma mais-valia para a indústria. A vertente comportamental dos colaboradores de uma indústria/empresa é fundamental para que a eficiência energética seja alcançada em pleno.

Há sempre medidas que podem ser implementadas com o fim de aumentar a eficiência energética. Todos os pontos referidos possuem uma infinidade de vertentes que podem ser melhoradas até atingir o máximo de eficiência, quer do processo, do produto, dos equipamentos, da operação e até da eficiência humana.

2.4. História da termografia

A produção de calor desde há muito que faz parte da história, e por volta de 400a.C., antigos filósofos e médicos gregos como Platão, Aristóteles e Hipócrates, reconheceram a relação entre o calor e a vida. A origem do calor humano ainda não era questionada mas sim o modo e os meios que o corpo humano usa para dissipar o calor. Uma das formas de dissipação era vista como evidente, a respiração; pois podia-se sentir um aumento de temperatura do ar quando expirado [11]. Quando Hipócrates, “pai da medicina”, sentia calor com o dorso da sua mão, como meio de confirmação, aplicava lama na zona de suspeita e observava onde secava primeiro. Ao observar tantas variações de temperatura no corpo humano considerou que um anormal aumento de temperatura seria um forte indício de doença, surgindo assim a primeira técnica de termografia [12].

Apenas em 1592 se voltou a refletir sobre o aumento e diminuição da temperatura num corpo. Nesse ano, Galileu (físico, matemático, astrónomo e filósofo) desenvolveu um termómetro de ar/água (variava com a pressão atmosférica), um instrumento muito rudimentar em que, apenas, fornecia informação aquando uma mudança brusca de temperatura [13]. O tradicional termómetro de mercúrio foi inventado em 1714 por Fahrenheit que, juntamente com Celsius e Joule introduziram as escalas termométricas. Essas escalas tomaram dimensões idênticas mas diferentes, sendo que a escala Celsius foi adotada por Alemanha e França e a escala Fahrenheit foi perfilhada por Inglaterra e Estados Unidos da América [14]. O termómetro de mercúrio caiu em esquecimento por cerca de 200 anos até que começou a ser usado na saúde e no contexto industrial. Mais recentemente foi proibida a sua comercialização na Europa, esta decisão visa garantir a segurança em termos de saúde humana e meio ambiente, já que o mercúrio apresenta riscos, existindo equipamentos de medição alternativos. Em 1884, Boltzmann, com base a lei empírica do corpo negro de Josef Stefan, concluiu que a radiação de um corpo é dada pela sua temperatura à quarta multiplicada por uma constante, a constante de Stefan-Boltzmann. Diz-se então que Boltzmann é o “pai da termografia infravermelha” pois a sua conclusão é usada para processar a informação recebida, por um pirómetro de infravermelhos ou por uma máquina termográfica, de forma a prever com maior precisão a temperatura que se pretende.

A primeira máquina termográfica foi inventada em 1929 pelo físico húngaro Kálmán Tihanyi, com propósito militar (defesa antiaérea) [15]. As máquinas termográficas do presente nasceram de uma parceria do exército dos Estados Unidos com a Texas Instruments em 1947. O aparelho era primitivo, pois demorava 1 hora para tirar uma única foto, no entanto era eficaz. Desde então, a otimização e evolução, permitiu que tenhamos hoje em dia máquinas termográficas com capacidade de nos fornecer respostas no momento [16].

3. Fundamentos e técnicas da termografia

3.1. Transferência de calor

Como todas as outras formas de energia, o calor não pode ser criado nem destruído. O que pode parecer uma fonte de “criação” de calor, como por exemplo, um aquecedor elétrico, é na verdade um mecanismo de conversão de energia, neste caso elétrica, para um outro tipo de energia, o calor. No entanto, o contrário também acontece, ou seja, o calor pode ser convertido para outras formas de energia, como a energia elétrica e energia cinética.

O calor é dinâmico, isto é, resiste à estabilidade. Ele flui sempre a partir dos pontos de maior temperatura para os pontos de temperatura mais baixa. A manutenção de um corpo ou uma superfície a uma temperatura estável, dentro de um ambiente em constante mudança, exige a inserção/remoção contínua de calor ou de qualquer outra forma de energia que é convertida em calor. A temperatura é, portanto, um modo de manter o controlo do fluxo de calor, mesmo que ele não defina toda a condição térmica dinâmica.

Existem assim 3 modos de transferência de calor:

- **Condução:** a transferência de calor dá-se através de um material, geralmente um material sólido, por meio de colisões moleculares;
- **Convecção:** a transferência de calor dá-se normalmente entre uma superfície sólida e um fluido em movimento;
- **Radiação:** a transferência de calor dá-se através de ondas eletromagnéticas, podendo ocorrer através de meios transparentes ou de vácuo.

Todas as transferências de calor “utilizam” um ou mais destes modos de permutação. Na maioria das vezes, no mundo real, o calor flui numa combinação dos três modos de transferência. A termografia está mais intimamente relacionada com a transferência de calor por radiação. Um entendimento de todos os três modos de transferência de calor é essencial, a fim de realizar um plano de medições termográficas bem-sucedidas [17] [18].

3.1.1. Condução

O fluxo de calor por condução é a transferência de calor em meios estacionários (Figura 1). É o modo de transferência de calor mais comum entre sólidos, mas também pode ter lugar em líquidos e gases. Ela ocorre como o resultado de colisões moleculares no caso dos líquidos e vibrações atômicas no caso dos sólidos, em que a energia é “movida” a uma molécula de cada vez, dos locais de temperaturas mais altas para os locais de temperatura mais baixa [17].

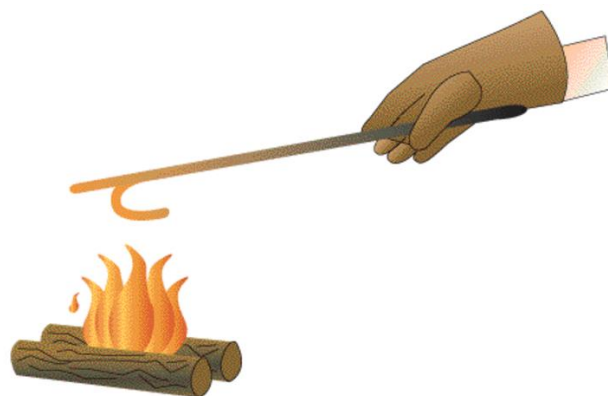


Figura 1 – Exemplo de transferência de calor por condução.

O fluxo de calor por condução, q_c'' (W/m^2), quantidade de calor transferido por unidade de área, tem como fundamento a Lei de Fourier, apresentada na seguinte expressão [18],

$$q_c'' = k \times \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

em que: k ($W/m.K$) representa a condutividade térmica do material; ΔT (K) é a diferença de temperatura; Δx (m) representa o comprimento do material condutor.

Por sua vez a quantidade de calor transferido por condução, q_c (W), é dado por [18],

$$q_c = q_c'' \times A \quad (2)$$

em que: A (m^2), representa a área da secção transversal.

3.1.2. Convecção

O fluxo de calor convectivo acontece num meio em movimento e está quase sempre associado à transferência de calor entre um sólido e um fluido (em movimento) como se pode observar na Figura 2. A convecção pode ser forçada ou natural. A primeira ocorre quando uma força externa, tais como o vento, um ventilador ou uma bomba, faz com que o fluido se mova. A convecção natural ocorre quando as diferenças de temperatura, necessárias para fazer a transferência de calor, geram mudanças de densidade, sendo que o mais quente sobe provocando assim o movimento [17].

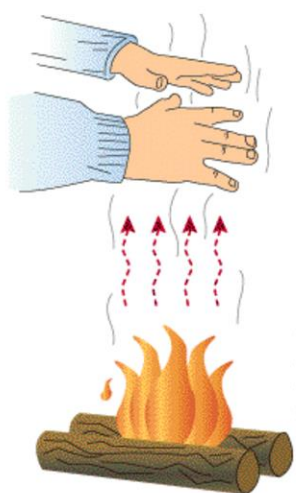


Figura 2 – Exemplo da transferência de calor por convecção natural.

O fluxo de calor por convecção, q_h'' (W/m^2), quantidade de calor transferido por unidade de área, tem como fundamento a Lei de Fourier, apresentada na seguinte expressão [18],

$$q_h'' = h \times (T_s - T_\infty) \quad (3)$$

em que: h ($W/m^2.K$) é o coeficiente de transferência de calor, dependente das propriedades termofísicas do fluido; T_s (K) representa a temperatura da superfície; e T_∞ (K) é a temperatura do fluido que envolve a superfície.

A quantidade de calor transferido por convecção, q_h (W), isto numa superfície, é dado por [18],

$$q_h = A \times h \times (T_s - T_\infty) \quad (4)$$

em que: A (m^2), é a área da transferência perpendicular ao fluxo de calor.

Assim, quanto maiores forem as diferenças de temperatura, a área da superfície e a velocidade do fluido, maior será o fluxo de transferência de calor. Sabe-se ainda que uma superfície rugosa diminui a velocidade do fluido causando assim, uma transferência de calor mais lenta.

3.1.3. Radiação

A transferência de calor por radiação é muito diferente, dos dois outros modos, em vários aspectos. É um processo extremamente importante, e no sentido físico, é talvez o mais interessante dos modos de transferência de calor. Pode ocorrer em vácuo, ou seja, não necessita de um meio para se propagar [18].

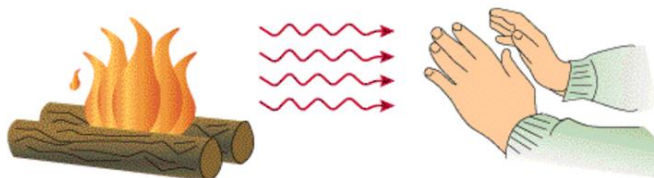


Figura 3 - Exemplo de transferência de calor por radiação.

A transferência dá-se por emissão eletromagnética e absorção, ocorrendo à velocidade da luz (299.792.458 m/s). Para avaliar o poder emissivo da superfície e de um material é necessário introduzir o conceito de um corpo negro, ocorrendo a primeira menção a corpos negros em 1860 por Gustav Kirchhoff. Um corpo negro, independentemente do comprimento de onda e direção, é um corpo que consegue absorver e emitir toda a radiação incidente sobre ele. Assim, teoricamente, um corpo negro tem poder emissivo máximo ($\epsilon=1$). Sendo um conceito teórico, na vida real os valores de emissividade (ϵ) são sempre inferiores à unidade. A transferência de calor acontece numa porção do espectro infravermelho, entre os $0,75\mu\text{m}$ e os $100\mu\text{m}$. ($1\mu\text{m}$ é um milionésimo de um metro, sendo esta a unidade de medida para o comprimento de onda da energia de radiação.) [17]. Há factores que interferem na transferência de calor por radiação. Entre eles, o factor atmosférico, como a humidade, CO_2 e poeiras, diminuindo a velocidade de transferência de calor [19]. Assim, a radiação e a sua transferência, baseiam-se em 3 leis: Lei de Stefan-Boltzmann, Lei de Plank e Lei de Wien.

3.1.3.1. Lei de Stefan-Boltzmann

Relaciona a temperatura e a energia, estabelece que a energia total radiada por unidade de área superficial de um corpo negro na unidade de tempo (radiação do corpo negro), é diretamente proporcional à quarta potência da sua temperatura absoluta. Assim q_r'' (quantidade de calor transferido por radiação por unidade de área (W/m^2)) [18],

$$q_r'' = \sigma \times T^4 \quad (5)$$

em que: σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,6697 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$), T é a temperatura (K). Sendo que a quantidade de calor transmitido por radiação (q_r) é dado por,

$$q_r = q_r'' \times A \quad (6)$$

em que: A (m^2) é a área de transferência de calor perpendicular ao fluxo [18].

3.1.3.2. Lei de Wien

Conhecida pela lei do deslocamento de Wien, esta afirma que há uma relação entre o comprimento de onda e a temperatura onde ocorre a máxima emissão de energia. Assim [18],

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} \quad (7)$$

em que: b é a constante de radiação (2898 $\mu\text{m}\cdot\text{K}$) e T representa a temperatura em Kelvin.

Conclui-se, da lei de Wien, que quanto maior seja a temperatura de um corpo negro menor é o comprimento de onda no qual emite. Podendo-se constatar na Figura 4 esse efeito para um corpo negro. [18]

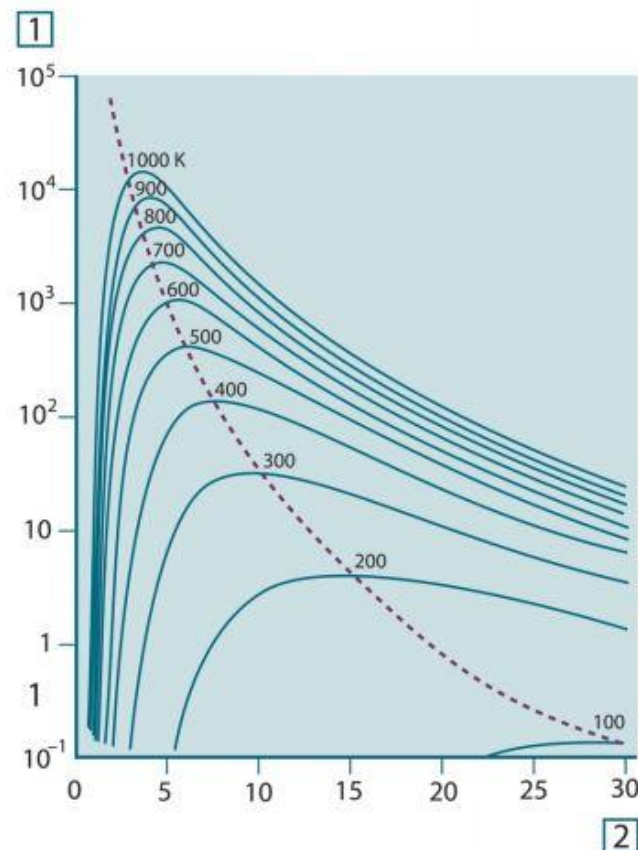


Figura 4 - A linha a tracejado representa o foco da emitância radiante máxima a cada temperatura, tal como descrito pela lei de deslocamento de Wien. **1:** Emitância espectral radiante ($\text{W}/\text{cm}^2\cdot\mu\text{m}$) **2:** Comprimento de onda (μm) [20].

3.1.3.3. Lei de Planck

A lei de Planck precisa qual a quantidade de energia que um material emite para um determinado comprimento de onda (λ) e temperatura (T). Planck descreveu, matematicamente, a distribuição espectral da radiação de um corpo negro [18],

$$I_{(\lambda,T)} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 [e^{\frac{hc_0}{KT\lambda}} - 1]} \quad (8)$$

em que h é a constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s), c_0 é a velocidade da luz (299.792.458 m/s), λ é o comprimento de onda (m), T representa a temperatura do corpo negro (K), K é a constante de Boltzmann ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K) [18].

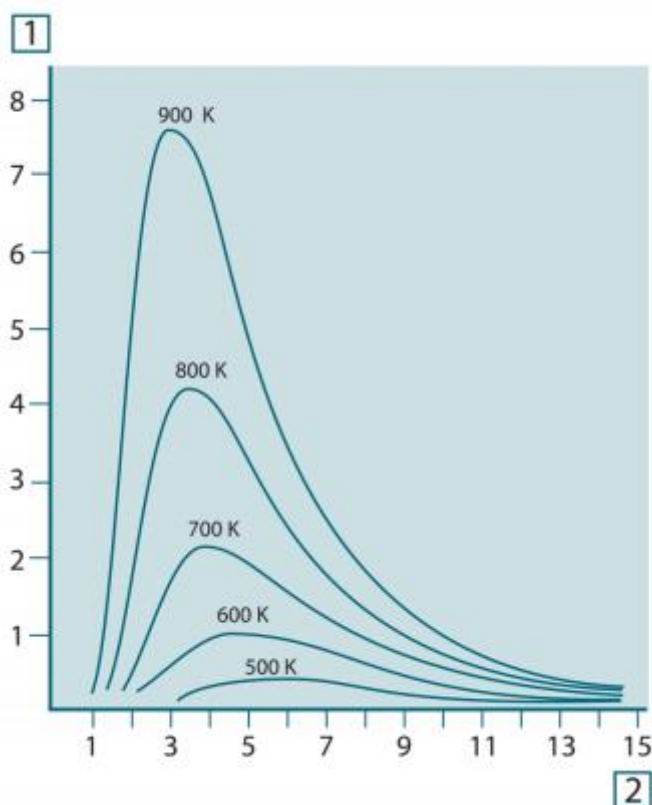


Figura 5 - Distribuição espectral da radiação de um corpo negro para várias temperaturas absolutas de acordo com a lei de Planck. **1:** Emitância espectral da radiação ($W/cm^2 \times 10^3$ (μm)); **2:** Comprimento de onda (μm) [20].

3.2. Espectro Eletromagnético e a Radiação Infravermelha

3.2.1. Espectro Eletromagnético

O espectro eletromagnético é onde se cataloga todos os tipos de radiação, classificando o comprimento de onda e frequência. Assim, na Figura 6, ordenados desde os comprimentos de onda (λ) mais longos (ondas rádio e micro-ondas) até aos mais curtos (raios x e gama). Esta divisão pelo espectro traduz-se nas diferentes interações eletromagnéticas com a matéria. [21]. No caso da termografia, a zona do infravermelho é a que interessa, a que é captada pela câmara termográfica. No seu caso, a interação com a matéria dá-se por vibração molecular e no caso dos metais por oscilação do plasma.

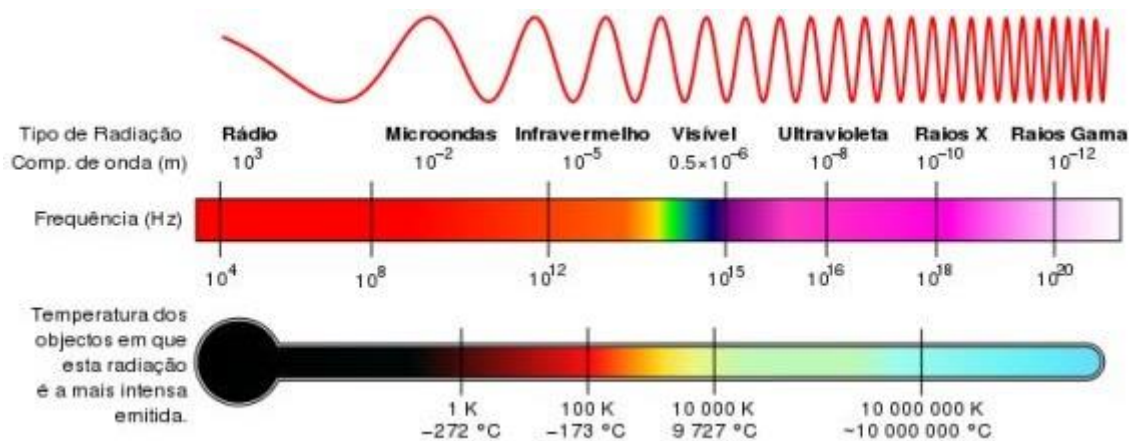


Figura 6 - Espectro eletromagnético.

3.2.2. Radiação infravermelha

Todos os objetos na Terra irradiam energia infravermelha. Já enunciadas as leis inerentes à radiação e o conceito de corpo negro (3.1.3), é necessário ter em consideração algumas correções. Um corpo negro, sendo um conceito teórico, não se comporta da mesma forma que um corpo real, visto que uma parte da radiação pode ser absorvida (α), refletida (ρ) e transmitida (τ).

A absorção espectral (α), é a razão entre a energia radiante espectral absorvida pelo objeto e a energia radiante espectral total incidente [20].

A reflexão espectral (ρ), é a razão entre a energia radiante espectral refletida pelo objeto e a energia radiante espectral total incidente [20].

A transmissão espectral (τ), é a razão entre a energia radiante espectral transmitida através do objeto e a energia radiante espectral total incidente [20].

A soma dos três factores acima mencionados deve ser igual à unidade, de modo que:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (9)$$

Um objecto tem também a capacidade de emitir energia, a qual se dá o nome de emissividade espectral (ε). É a razão entre a energia radiante espectral de um objecto e a energia radiante espectral de um corpo negro, à mesma temperatura e comprimento de onda [20]. A emissividade varia com as propriedades do material, tipo de superfície e em alguns casos com a temperatura.

De acordo com a lei de Kirchhoff, para qualquer material a emissividade espectral e a absorção espectral de um objecto são iguais ($\varepsilon = \alpha$), para qualquer temperatura e comprimento de onda. Assim a equação 9 resulta [20]:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \quad (10)$$

Para a captação de uma imagem térmica a máquina termográfica tem como base a correlação da equação 10, registando a emissão, a reflexão e a transmissão espectral da radiação infravermelha de um objecto (Figura 7).

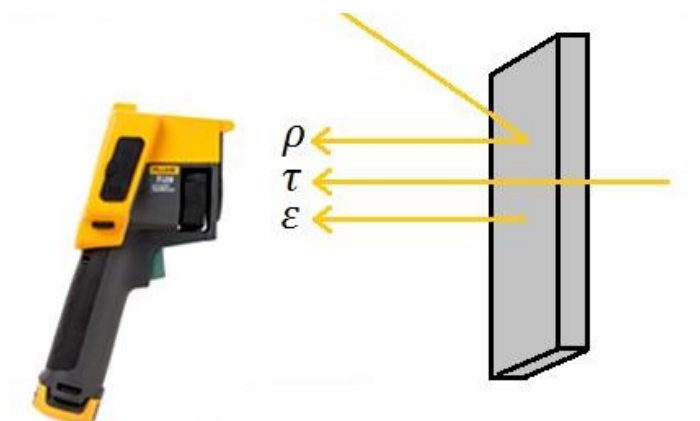


Figura 7 - Reflexão, transmissão e emissão de um objecto detetado pela câmara termográfica.

Reformulando o ponto 3.1.3.1, Lei de Stephan-Boltzmann, para corpos cinzentos, ou seja, com emissividade menor que a unidade ($\varepsilon < 1$), obtém-se:

$$q_r'' = \varepsilon \times \sigma \times T^4 \quad (11)$$

Existem já documentados inúmeros materiais e as suas respectivas emissividades. A *FLUKE* disponibiliza esse documento, juntamente com o seu *software*, apresentado no Anexo A.

Ainda assim a câmara termográfica avalia mais do que apenas a radiação infravermelha emitida pelo objecto em questão. Mede também a radiação refletida da superfície do objecto. As “radiações” referidas atenuam no meio de transmissão existindo, ainda, a radiação atmosférica. Na Figura 8 estão ilustradas as variáveis reais envolvidas na captação de uma imagem termográfica.

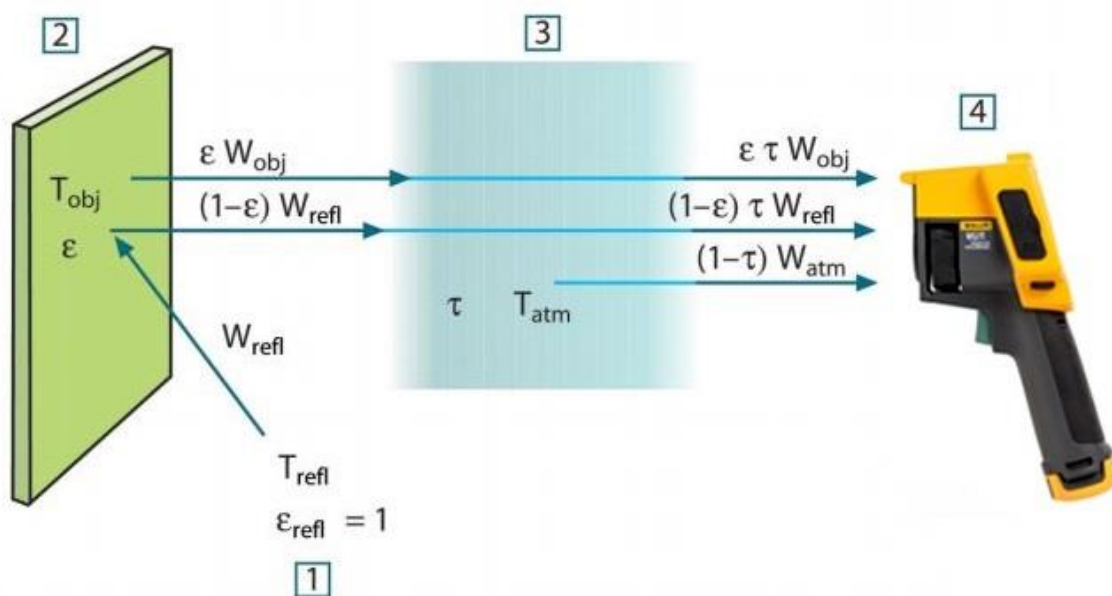


Figura 8 - Representação da medição com uma câmara termográfica. **1:** Envoltente; **2:** Objeto opaco; **3:** Atmosfera; **4:** Câmara termográfica [20].

A potência recebida (W) a partir de um objeto com uma temperatura associada (T), numa curta distância, a câmara gera um sinal de saída (U),

$$U = C \times W(T) \quad (12)$$

em que: C representa uma constante que relaciona factores atmosféricos com os componentes óticos da câmara e as propriedades do detetor.

Pela decomposição da Figura 8, a potência recebida (W) é constituída pela soma de três termos, a potência radiante emitida pelo objecto, a quantidade de calor transferido por radiação pela atmosfera e a quantidade de calor transferido por radiação refletida por uma fonte ambiental. A potência radiante emitida pelo objecto corresponde “ $\varepsilon \tau W_{obj}$ ”, sendo ε é a emissividade do objeto analisado. A quantidade de calor transferido por radiação refletida por uma fonte ambiental é dado por “ $(1-\varepsilon) \tau W_{refl}$ ”, sendo a reflexão do objecto dado por $(1-\varepsilon)$. A quantidade de calor transferido por radiação pela atmosfera representa-se por “ $(1-\tau) W_{atm}$ ”, onde $(1-\tau)$ é a emissividade da atmosfera. Assim a potência recebida, ou seja, a quantidade de calor transferido por radiação, por unidade de área na unidade de tempo, fica [20]:

$$W = \varepsilon \tau W_{obj} + (1-\varepsilon)\tau W_{refl} + (1-\tau) W_{atm} \quad (13)$$

3.3. Câmara *FLUKE Ti27*

A câmara termográfica *FLUKE Ti27* (Figura 9) é um visor portátil usado para fins de manutenção preventiva e preditiva. A faixa de medição de temperatura vai de -20°C até $+600^{\circ}$. A imagem térmica pode ser exibida com a utilização de uma das diversas paletas de cores padrão ou das paletas de cores *Ultra Contrast™* [22].



Figura 9 - Câmara *FLUKE Ti27* [22].

A tecnologia *IR-Fusion®*, disponível apenas na *FLUKE*, permite a exibição e armazenamento de uma imagem total (640 X 480) de cada imagem em infravermelho. As imagens térmicas e visuais podem ser exibidas simultaneamente como uma imagem térmica completa ou como uma imagem PIP (*Picture-In-Picture*) em diversos modos de mescla disponíveis. A energia da câmara é suprida por uma das duas unidades de baterias de íões de lítio recarregáveis e intercambiáveis, cada uma com capacidade de mais de 4 horas de operação contínua. [22].

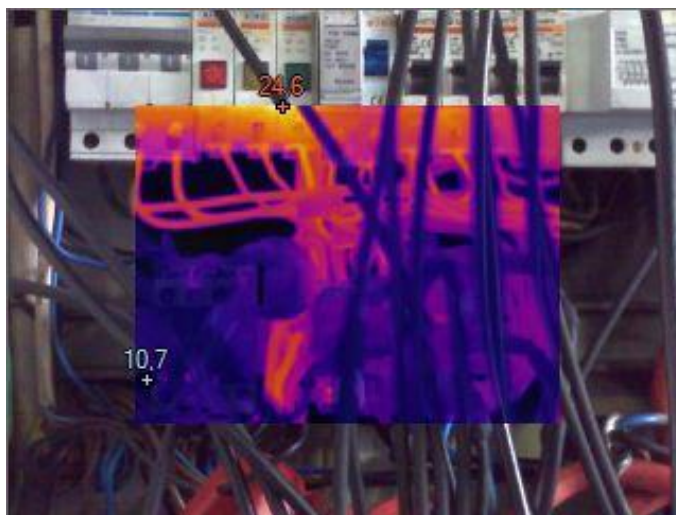


Figura 10 - Fotografia com *FLUKE Ti27* com a tecnologia *IR-Fusion®* em modo PIP.

As imagens térmicas e visuais são exibidas no visor de cristal líquido da câmara termográfica e podem ser salvas no cartão de memória SD (*Secure Digital*), removível, para posterior análise no *software SmartView®*. Além das características mencionadas acima, a câmara termográfica possui recursos para gravação de voz para anotação de imagens salvas, correção de emissividade, compensação de temperatura refletida do plano de fundo, correção de transmissão e várias outras características úteis e fáceis de usar.

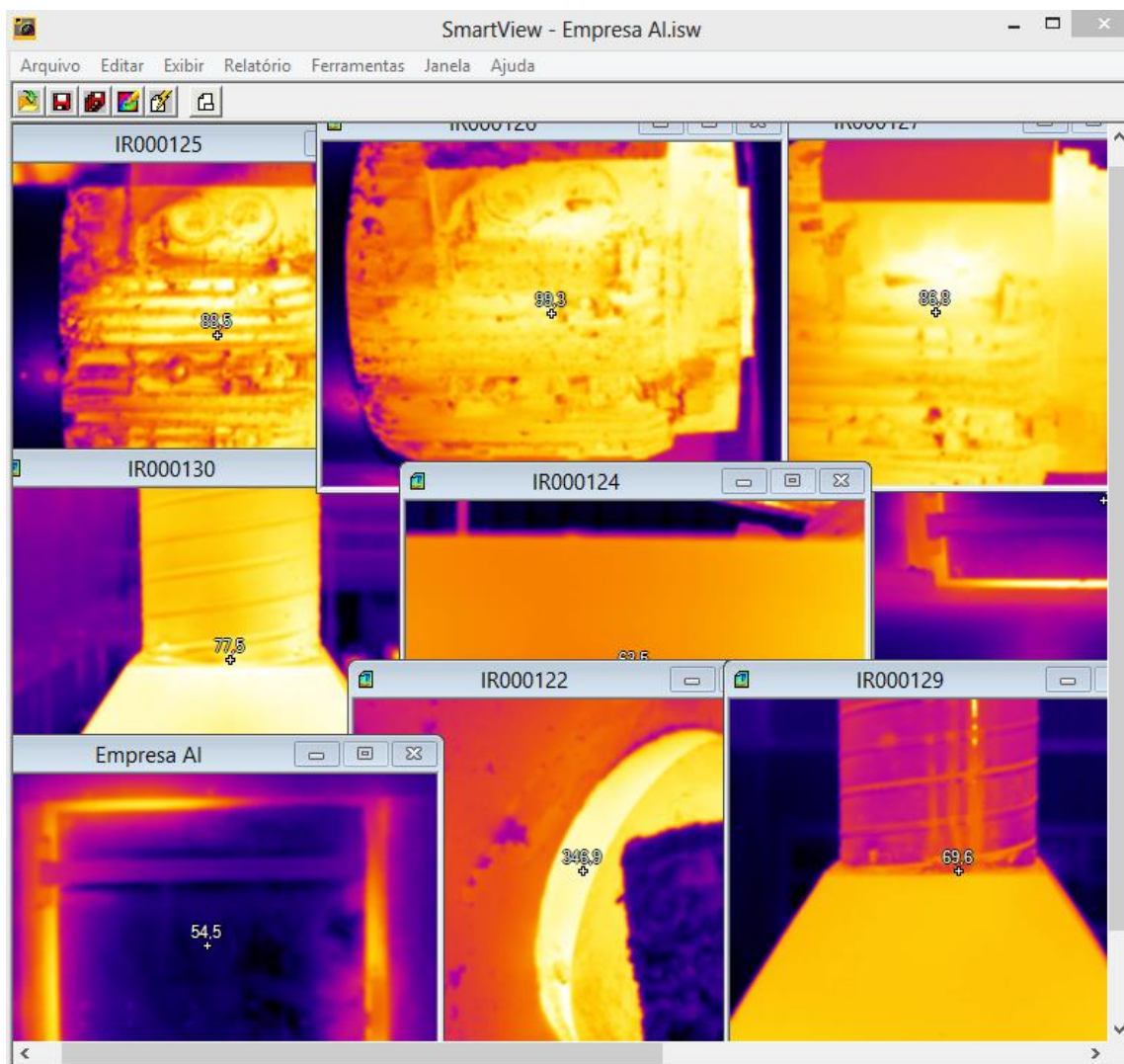


Figura 11 - Área de trabalho do *software SmartView*®.

O *software SmartView*® permite uma análise das fotografias e a geração de relatórios das imagens salvas. Além disso permite uma organização da área de trabalho, personalizando cada imagem desde nome, o ponto que queremos aferir, a sua temperatura bem como, automaticamente aponta o ponto mais quente, o ponto mais frio, o ponto central. Também permite determinar temperaturas ao longo de uma recta e em áreas, podem estas ser rectangulares, circulares, ou de forma livre. Neste caso é sempre fornecida a temperatura máxima, a mínima e temperatura média naquela área ou recta.

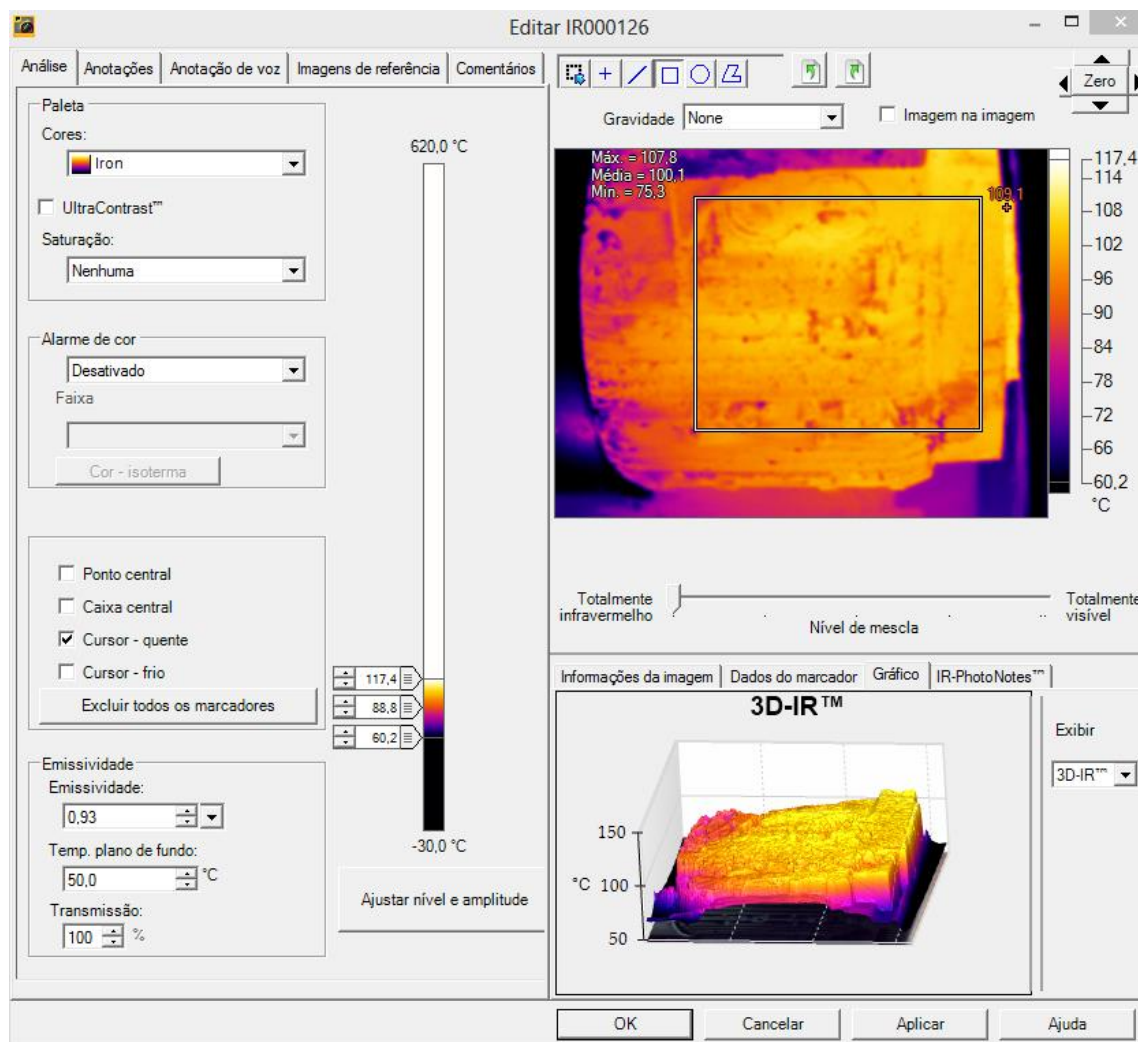


Figura 12 - Modo de edição do *software SmartView®*.

3.4. Aplicações da termografia

A termografia tem muitas aplicações nas mais diferentes áreas. Como já foi referido, todos os objetos emitem radiação infravermelha assim uma câmara termográfica pode ser usada em todos os sectores, como o da indústria, da saúde, militar, da construção, etc. Algumas aplicações são transversais aos vários sectores referidos mas algumas são específicas para cada sector de atividade. Tendo mais importância referir as aplicações transversais a todos os sectores algumas utilizações são específicas para certas áreas.

Antes de ir para o “terreno” com a câmara termográfica, para além do conhecimento do funcionamento da câmara, é importante saber o que se procura. Torna-se relevante perceber quais as anomalias que se procuram, neste caso, numa indústria e também nos

edifícios de comércio e serviços. Equipamentos geradores de calor (motores, fornos, compressores), equipamentos que promovem o arrefecimento, circuitos elétricos, e todos os objetos ou elementos que tenham uma temperatura associada para uma determinada função. Sendo que os equipamentos ou processos têm diferentes características, a avaliação é diferente, e a captura de anomalias é também diferente.

3.4.1. Equipamentos térmicos

Existem vários equipamentos geradores de calor, nas indústrias e nos edifícios de comércio e serviços, entre os mais comuns estão os motores, válvulas, compressores e fornos. Nos motores existem vários pontos de inspeção, como rolamentos, acoplamentos, e a temperatura geral. Um mau arrefecimento pode provocar problemas internos, deve-se então usar como referencia o valor de temperatura da chapa característica. Sendo que a temperatura exterior é, aproximadamente, 20 °C mais baixa que a temperatura interior. Para avaliar rolamentos e acoplamentos, uma boa estratégia é comparar com outros ou observar a tendência de temperaturas ao longo do tempo. No caso das válvulas de vapor, pode-se observar em funcionamento o lado quente (vapor) e o lado frio (condensação), salvo algumas exceções. Caso os dois lados estiverem quentes poderá indicar um mau funcionamento.

Quando existem equipamentos de arrefecimento, por exemplo, em tubos e pode-se observar temperaturas mais baixas ao longo tubos, significa que o isolamento e/ou o tubo está deteriorado. Nos equipamentos de frio, ou que operam a temperaturas baixas, procuram-se as temperaturas mais baixas. Nesses casos, essas zonas evidenciam trocas de calor entre o tubo e o meio ambiente.



Figura 13 - Imagens termográficas de motores, válvulas e acoplamentos [23].

3.4.2. Circuitos elétricos

No caso dos circuitos elétricos, a câmara termográfica destaca-se como uma mais-valia. Obviamente que existe calor associado aos circuitos elétricos, sendo normal existir componentes quentes, como, transformadores, condensadores, resistências, fusíveis e condutores porém pontos mais quentes podem indicar cargas desequilibradas ou excessivas. Neste caso, o aquecimento ocorre ao longo de toda a fase do circuito afectado. Disjuntores e fusíveis com temperaturas superiores a 93°C poderão ter danificado permanentemente a estrutura das peças metálicas. Muitas das detecções das anomalias nos circuitos elétricos dá-se por comparação, ou seja, os mesmos componentes com cargas semelhantes apresentam temperaturas diferentes. Qualquer aquecimento anormal poderá indicar um potencial problema. Quando os componentes são metais brilhantes, deve-se ter em atenção as temperaturas fornecidas pela câmara, pois tornam-se altamente refletores do seu meio envolvente térmico, emitindo radiação que não traduz a sua real temperatura.

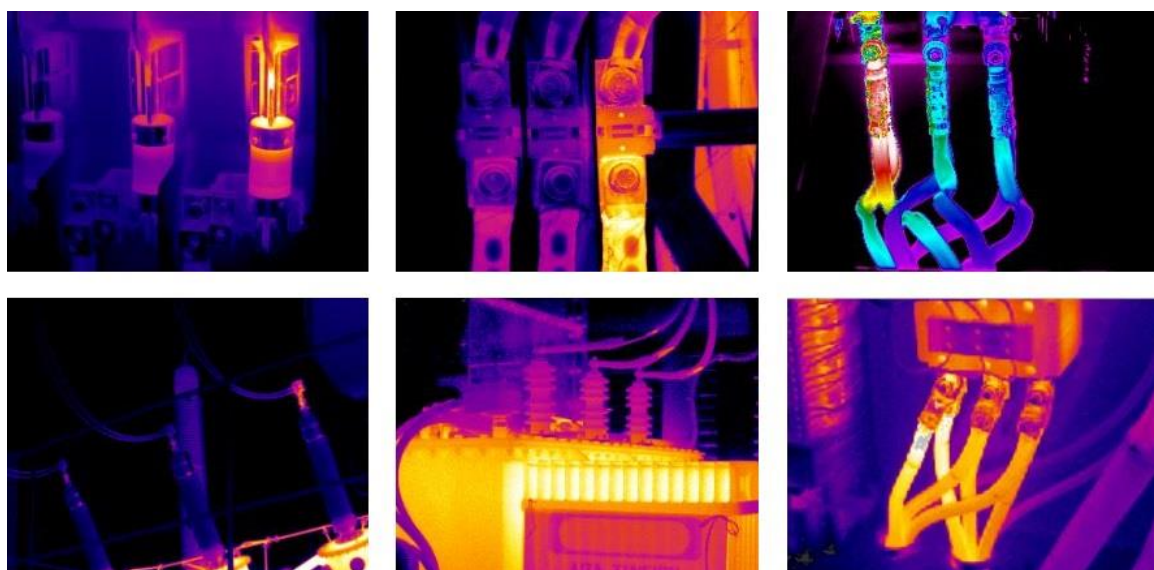


Figura 14 - Fotografias termográficas de circuitos elétricos, transformadores, fases [23].

3.4.3. Construção civil

Nesta área, sendo a termografia muito usada, é possível localizar fugas caloríficas. Perdas que podem estar nas juntas de ligação, nas paredes e/ou nos elementos construtivos (janelas, telhados, portas). Para detetar essas fugas com certa facilidade, apenas é preciso

garantir uma diferença de temperatura de cinco graus celsius. Permite ainda detetar a presença de humidade, prevenindo danos estruturais no edifício e prejudicar a saúde dos seus ocupantes. O isolamento térmico das paredes, do tecto, e do chão facilmente são diagnosticados, sendo que as variações de temperatura indicam um mau isolamento ou deterioramento do mesmo. A grande vantagem na construção é a análise não-destrutiva rápida e eficaz. A escala que se pode analisar é enorme, podendo analisar um edifício em relativamente pouco tempo.

Os objetos na construção podem ser “ativos” ou “passivos”, ou seja, se geram ou não calor, respectivamente. A maioria dos elementos construtivos é passiva pois a transferência de calor dá-se por condução através deles. Os elementos ativos incluem, por exemplo, os sistemas de aquecimento ou arrefecimento.

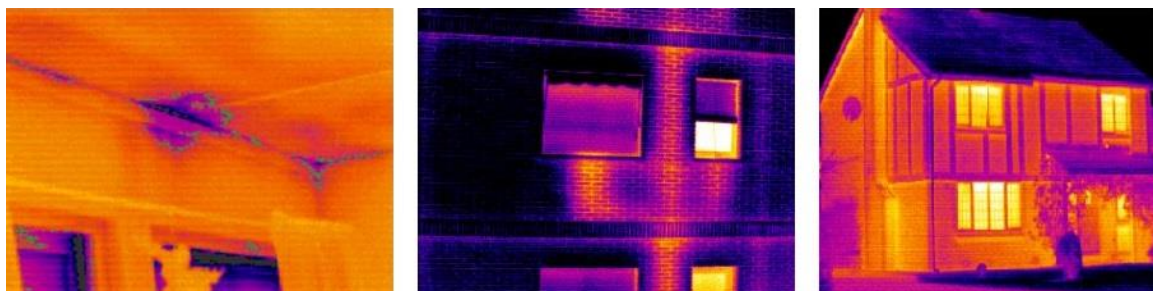


Figura 15 - Imagens termográficas de edifícios e elementos construtivos [23].

3.4.4. Automobilismo

No mundo dos transportes a engenharia é levada ao limite. Sendo, um automóvel, um gerador de calor, a câmara termográfica é muito usada para avaliar o seu desempenho. Utilizada como elemento de estudo, no desenvolvimento de um modelo de estrada, e mesmo para localizar anomalias no período de manutenção periódica. No mundo do desporto automóvel é utilizada no dia-a-dia. Com a câmara termográfica, pode-se avaliar o desempenho dos motores, temperaturas dos pneus e travões, fugas no sistema de refrigeração, entre outros.

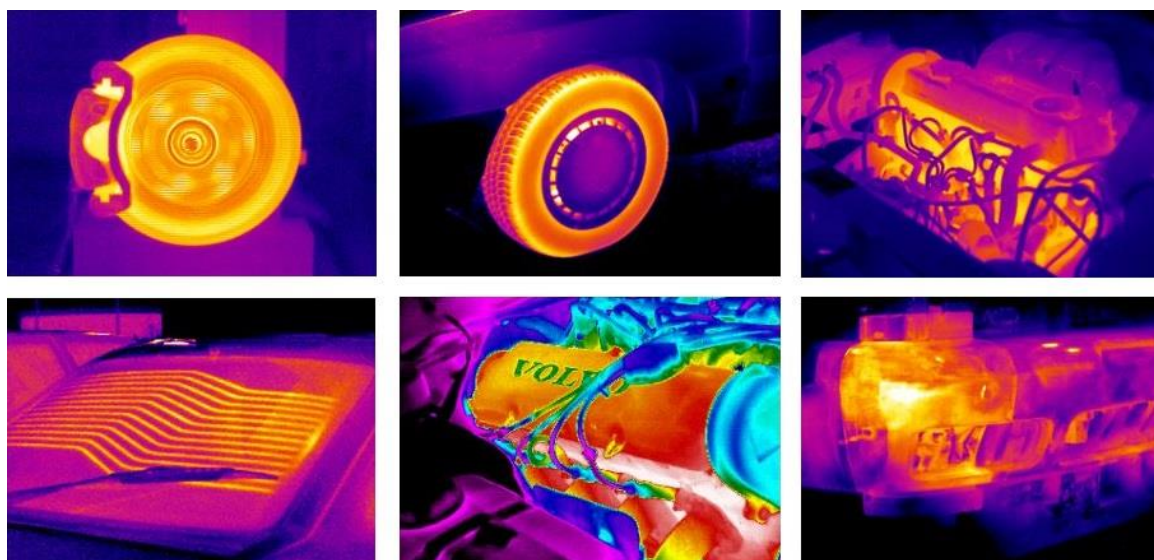


Figura 16 - Imagens termográficas de vários componentes presentes num automóvel [23].

3.4.5. Processo de fabrico

A termografia é mais-valia em qualquer processo de fabrico. Em quase todos os produtos, durante o processo de fabrico, existem etapas que requisitam uma certa temperatura para a produção de um produto de qualidade. A câmara termográfica ajuda a controlar essa temperatura, analisando o produto em cada fase do processo. Estando associados equipamentos a esse processo, logo também podem ser monitorizados, com vista a fazer pequenos ajustes para uma maior eficiência do processo. A monitorização da produção garante qualidade aos produtos, bem como os programas de manutenção. Já referido, a grande vantagem é avaliar isto tudo sem parar a produção. Os custos na produção não aumentam nem diminuem com a análise através de uma câmara termográfica.

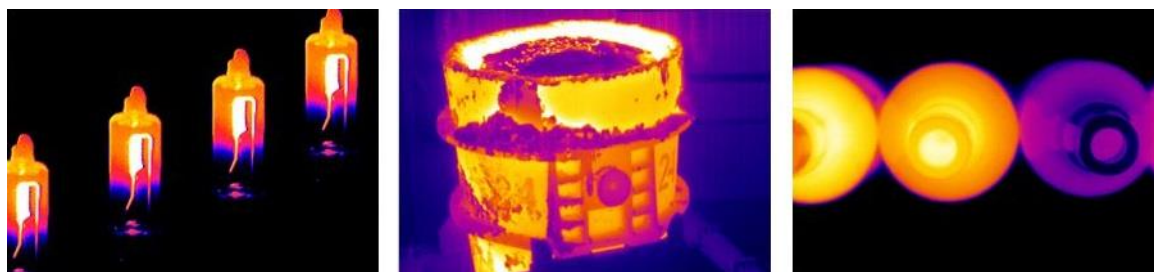


Figura 17 - Produtos no processo de fabrico captados por uma câmara termográfica [23].

3.4.6. Vigilância e segurança

A vigilância e a segurança complementam-se, ou seja, para garantir segurança é necessário vigilância. Assim, já há algum tempo que as forças militares usam a radiação infravermelha para se deslocarem durante a noite. Pode ainda ser usada, observada pela câmara termográfica, para localizar alvos e informações sobre o terreno. A defesa do território pelas forças militares também recorre às imagens termográficas, pois navios, aviões, os veículos terrestres emitem radiação e são facilmente detectados. As forças policiais utilizam, igualmente, a tecnologia termográfica. Em operações com reféns, esta tecnologia ajuda a perceber o que se passa para lá das paredes de um edifício, por exemplo. No combate a incêndios pelos bombeiros, as câmaras termográficas podem ser instaladas nos veículos e aviões de combate a fogos. São ainda utilizadas em edifícios para perceber se existe fogo para lá das paredes. Em ambientes de pouca visibilidade, e em casos de derrocadas, a tecnologia infravermelha é utilizada para detetar possíveis vítimas. Noutras operações de salvamento, noturnas, marítimas e mesmo terrestres a detecção de calor pela câmara termográfica, pode localizar instantaneamente fontes de calor o que é de extrema importância no salvamento de vidas.

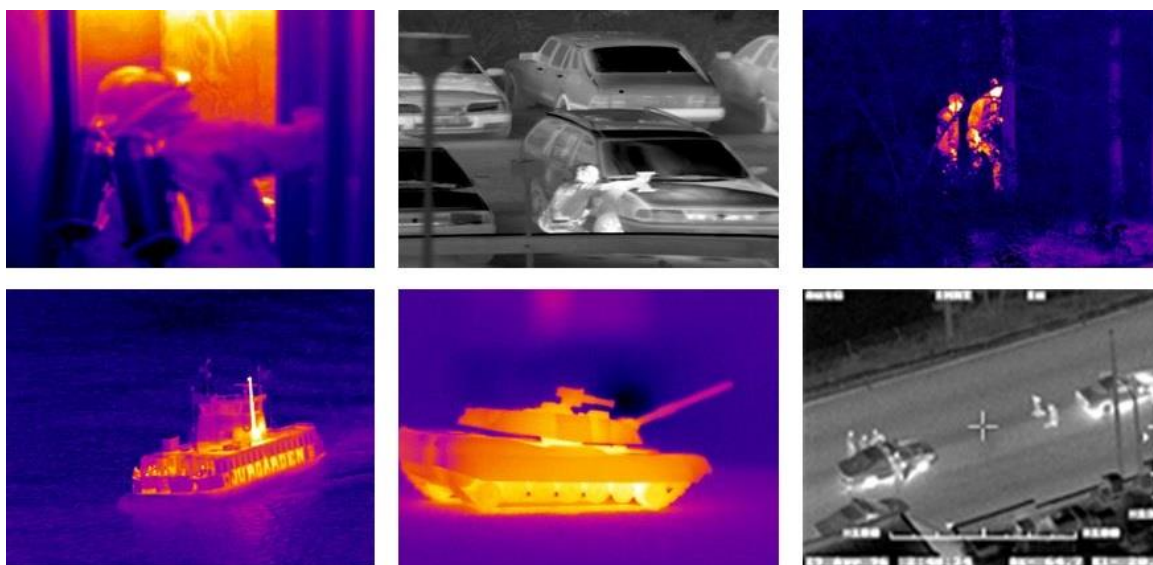


Figura 18 - Operações de salvamento, militares, policiamento com recurso à termografia [23].

3.4.7. Meteorologia

Na previsão da meteorologia, surge à cabeça a determinação da temperatura. Existem então satélites de infravermelhos, usados para monitorizar a temperatura da Terra e prever anomalias climáticas. Esses satélites, que possuem câmaras termográficas de ponta, são também utilizados para compreender as transferências de calor entre a Terra e o Sol. Normalmente, quando se visiona imagens de tornados ou ciclones, essas imagens são termográficas. É mais fácil pelas diferenças de temperatura, definir a sua intensidade e direção. Os aparelhos em órbita fornecem dados das temperaturas dos oceanos, ajudam assim ao estudo das correntes marítimas. Nos últimos anos, esta tecnologia tem sido usada para a localização de icebergues nos oceanos polares. Existem mesmo equipas especializadas na localização e sinalização de icebergues, para evitar acidentes nas rotas marítimas.



Figura 19 - Imagens de radiação infravermelha captadas por um satélite em torno da Terra [23].

3.4.8. Medicina

Esta tecnologia, captação de imagens termográficas, aplicada à medicina permite definir e analisar os padrões térmicos das superfícies de um ser humano, informação que fica na história clínica do paciente. Muitas das doenças são manifestadas por alteração da temperatura do corpo humano, facilitando para o médico uma melhor avaliação e consequentemente um melhor diagnóstico. Permite determinar problemas circulatórios, localizar infecções ocultas, danos musculares, etc. A tecnologia termográfica é utilizada muitas vezes no estudo dos problemas de locomoção, no diagnóstico do cancro da mama e na avaliação de queimaduras graves.

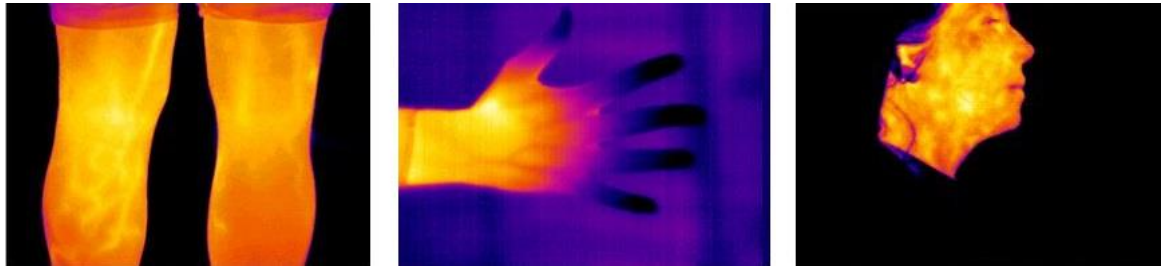


Figura 20 - Imagens termográficas do corpo humano [23].

4. Caso de estudo

4.1. Apresentação da empresa

A empresa onde se realizou o estudo que agora se apresenta é cliente da *Ecoinside*, e por questões de confidencialidade dos dados apresentados será denominada como “*Empresa Al*”. A *Empresa Al* é uma indústria de tratamento de alumínio, anodização, coloração electrolítica e lacagem dos mesmos, sediada no norte de Portugal. Tem uma carga horária de 120 horas semanais, parando a sua produção apenas aos fins de semana (Sábado e Domingo) estando em funcionamento durante 48 semanas por ano. Sendo consumidora intensiva de energia, está obrigada a satisfazer a legislação em vigor, o Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), que tem como base os pressupostos no Decreto-Lei nº 71/2008 de 15 de Abril, Portaria 519/2008 de 25 de Junho, Despacho nº 17313/2008, de 26 de Junho, Despacho nº 17449/2008, de 27 de Junho e Decreto-Lei nº 319/2009, de 3 de Novembro pelo Ministério da Economia e Inovação.

O processo produtivo da *Empresa Al* pode ser dividido em dois sectores o da anodização e da lacagem.

No sector da anodização o tratamento químico é feito através de dezanove tanques. Quatro dos tanques são denominados como “banhos quentes”, equipados individualmente com um queimador de gás natural e acionado para manter a temperatura pretendida. Três

deles são “banhos frios” ficando o arrefecimento a cargo de três permutadores ácido/água, sendo que a água de arrefecimento provêm de dois *chiller's*, sendo depois permutada, primeiramente, numa câmara fechada com água da rede. Os restantes banhos encontram-se à temperatura ambiente. Consoante o produto final requerido o número de banhos e ordem dos mesmos é diferente. Assim no sector de anodização pode-se obter o alumínio na sua cor natural, com cor (coloração eletrolítica) ou fazer a preparação para a lacagem.



Figura 21 – Sector de anodização da *Empresa Al*.

No sector da lacagem, após os banhos químicos de pré-tratamento, os perfis de alumínio são montados em transportadores de roldanas ficando prontos para o processo de polimerização. O processo começa então por uma passagem na cabine de pintura (pistolas de pintura projetam pó à cor desejada) seguido de uma passagem pelo forno de modo a endurecer o pó, conferindo-lhe uma proteção anticorrosiva e decorativa. Os transportadores têm uma velocidade fixa e constante (2m/min.) de modo que os perfis, quer na cabine de pintura a pó e quer no forno, obtenham uma cor e proteção uniforme. O

forno onde é realizado o acabamento acima descrito opera na ordem dos 200°C, ficando o aquecimento a cargo de um queimador de gás natural.



Figura 22 – Entrada dos perfis de alumínio para forno no sector de lacagem da *Empresa Al*.

4.2. Objetivos do caso de estudo

Analisando os dois sectores referidos no ponto 4.1 será dada maior importância às perdas de energia nos seguintes processos/equipamentos:

- “Banhos quentes”;
- “Banhos frios”;
- Forno de lacagem.

O recurso da máquina termográfica será valioso para localizar essas perdas, visto que todos os pontos acima mencionados têm uma temperatura de referência. Logo tentar-se-á

perceber de que forma se pode minimizar as perdas associadas a esses equipamentos e processos.

4.3. Preparação da recolha de dados

Na preparação da visita à *Empresa A1* foi preciso analisar o que se pretendia medir e como se ia medir. O equipamento óbvio é a câmara termográfica, para além do tradicional papel e caneta, outros equipamentos serão necessários. Desde um medidor de distâncias por laser passando por um analisador de gases de exaustão. A Tabela 1 apresenta todos os equipamentos utilizados para a recolha dos dados e as suas características, além da câmara termográfica já descrita no ponto 3.3.

Tabela 1 – Equipamentos usados na recolha de dados.

EQUIPAMENTOS	CARACTERÍSTICAS
<p>Medidor de Distâncias Laser Fluke 421D</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Alcance: 0.05 m a 100 m • Precisão: +/-1,5 mm • Bateria: AAA (2) • Temperatura operativa: 0°C a 40°C
<p>Analisador de Gases Combustão Kane 425</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura operativa: 0°C a 600°C • Resolução: 0,1°C • Precisão: +/-2°C • Bateria: AA (4) • Mede: Oxigénio, Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono, Excesso de Ar e o Rácio de CO/CO₂

4.4. Recolha e tratamento de dados

Neste ponto, serão apresentados os dados recolhidos durante as visitas à *Empresa Al* com vista a satisfazer os objectivos do ponto 4.2. Os dados apresentados foram recolhidos pelo autor, em que alguns foram fornecidos pela empresa (consumos, processos). Procurar-se-á apresentar e tratar os dados de forma a alcançar os objectivos para cada um dos pontos seguintes.

4.4.1. “Banhos quentes”

No sector de anodização (Figura 23), nos “banhos quentes” do alumínio, registaram-se as temperaturas dos tanques, as dimensões e aferiu-se o modo como são aquecidos. Esse aquecimento é provido por quatro queimadores individuais, um por cada tanque analisado. Estes queimadores de gás natural mantêm a temperatura pretendida para os banhos de alumínio. Os tanques possuem um sistema de controlo de nível de água, que reabastece automaticamente sempre que necessário. Também é importante referir que os tanques possuem capacidade para mais do que um atado (conjunto de perfis) alumínio, sendo que normalmente, apenas mergulham um atado de cada vez.



Figura 23 – 1. Tanque de desengorduramento do alumínio com um atado de alumínio; 2. Queimador e conduta dos gases de exaustão.

A empresa possui um quadro em que estão indicadas as temperaturas de cada tanque como mostra a Figura 24. Assim a câmara termográfica vai-se tornar valiosa para localizar possíveis pontos de transferência de calor.



Figura 24 – Temperaturas dos 4 “banhos quentes”.

Procedeu-se então à recolha dos dados e da captura de algumas imagens termográficas a fim de traçar o melhor caminho a seguir. Na Tabela 2 apresentam-se os dados apurados.

Tabela 2 – Dados recolhidos dos “banhos quentes”.

“BANHOS QUENTES”	Tanque Desengordurante	Tanque Acetinagem	Tanque Decapagem	Tanque Selagem a Quente
Gases Combustão				
%O ₂	3,02	2,11	4,16	0,78
%CO ₂	10,1	10,61	9,46	11,41
CO (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00
Excesso Ar (%)	15	15	30	1
Caudal Volúmico médio (m ³ /h)	1007	1007	1007	477
Massa Volúmica média (kg/m ³)	1,331	1,331	1,331	1,343
Cp médio (kJ/kg°C)	1,14	1,13	1,17	1,16
T saída (° C)	209	192	158	375
T ar admitido (°C)	27	27	27	27
Dimensões do Tanque				
Largura (m)	1,0	1,0	1,0	2,0
Comprimento (m)	8,0	8,0	8,0	8,0
Altura (m)	2,5	3,0	3,0	3,0
Condições operação do banho				
Volume da água (m ³)	19,7	18,5	20	49,7
Massa Volúmica inicial (kg/m ³)	998,20	998,20	998,20	998,20
Massa Volúmica final (kg/m ³)	979,91	979,91	990,59	959,69
Cp inicial (kJ/kg°C)	4,1809	4,1809	4,1809	4,1809
Cp final (kJ/kg°C)	4,1835	4,1835	4,1788	4,1835
T inicial (°C)	20	20	20	20
T final (°C)	66	66	44	98
T ambiente (°C)	27	27	27	27
T parede tanque (° C)	30	37	24	50

Como se pode observar na Figura 25 captada pela câmara termográfica, é notório que a superfície do banho em contacto com o exterior é onde se dá a maior troca de calor, resultado da evaporação da água para o meio ambiente. Parece evidente que se deve concentrar atenções para a superfície em contacto com o meio ambiente para aferir as suas perdas.

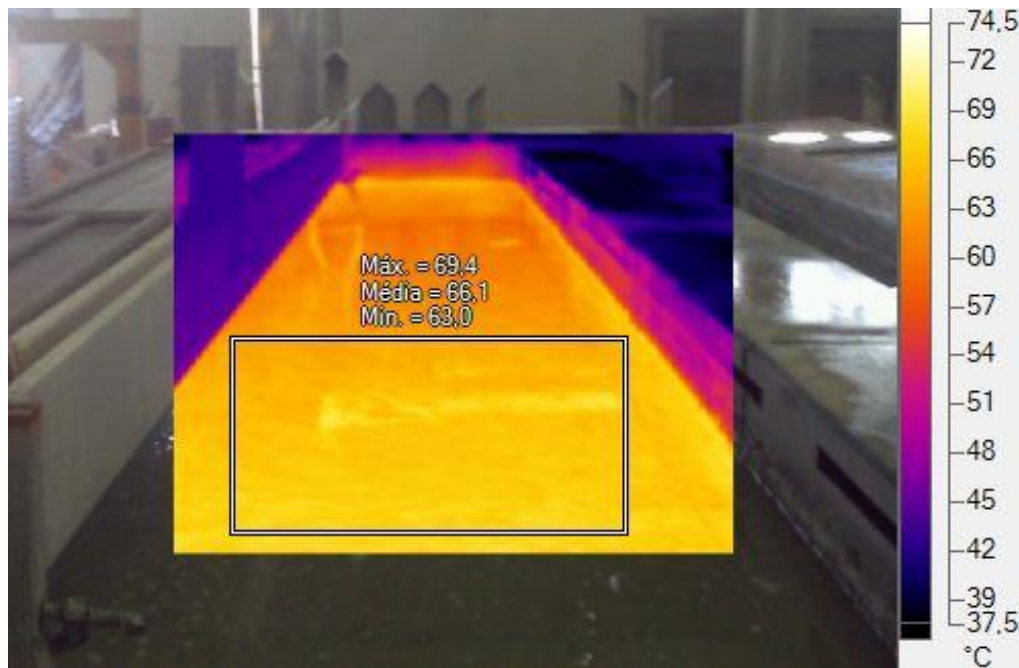


Figura 25 – Fotografia *PIP* do tanque de desengorduramento.

Com os dados recolhidos e recorrendo a um balanço de energia ao sistema de aquecimento dos “banhos quentes”, será possível determinar a quantidade de gás natural consumida num ano. Assim, a energia que entra é igual à energia que sai. Exemplificando para o tanque desengordurante:

$$\text{Energia de Entrada} = \text{Energia de Saída} \quad (13)$$

$$E_{\text{Gás Natural}} + E_{\text{Entrada Processual}} = E_{\text{Saída Processual}} + E_{\text{Gases Combustão}} + E_{\text{Perdas}}$$

No início do processo a água está a uma temperatura de 20°C, sendo que o aquecimento se inicia no domingo. Este aquecimento prévio acontece para que o tanque esteja com a temperatura desejada no primeiro turno da semana, neste caso a 98°C. Durante o período

de laboração o queimador necessita de manter a temperatura pretendida, colmatando as perdas do sistema. Com base nos dados da Tabela 2 e as tabelas termodinâmicas [24]:

- Energia de entrada processual

$$E_{\text{Entrada Processual}} = V \times \rho_{\text{inicial água}} \times C_{p_{\text{inicial água}}} \times T_{\text{inicial água}} \quad (14)$$

$$E_{\text{Entrada Processual}} = 19,7 \times 998,2 \times 4,1809 \times 20 = 1.644,309 \text{ MJ}$$

Sendo que esta água é renovada todas as semanas, a energia de 1.644,309 MJ é um valor semanal e como se procura o consumo anual:

$$E_{\text{Entrada Processual}} = 1.644,309 \text{ MJ} \times 48 \text{ semanas} = 78.926,856 \text{ MJ/ano}$$

- Energia de saída processual

$$E_{\text{Saída Processual}} = V \times \rho_{\text{final água}} \times C_{p_{\text{final água}}} \times T_{\text{final água}} \quad (15)$$

$$E_{\text{Saída Processual}} = 19,7 \times 979,91 \times 4,1835 \times 66 = 5.330,109 \text{ MJ}$$

Sendo que esta água é renovada todas as semanas, a energia de 5.330,109 MJ é um valor semanal e como se procura o consumo anual, logo:

$$E_{\text{Saída Processual}} = 5.330,109 \text{ MJ} \times 48 \text{ semanas} = 255.845,252 \text{ MJ/ano}$$

- Energia dos gases de combustão

$$E_{\text{Gases Combustão}} = \dot{V} \times \rho \times C_{p_{\text{médio}}} \times \Delta T \quad (16)$$

$$E_{\text{Gases Combustão}} = 1007 \times 1,331 \times 1,14 \times (209 - 27) = 278,089 \text{ MJ/h}$$

Com vista a apurar o consumo de gás natural num ano, assim:

$$E_{\text{Gases Combustão}} = 278,089 \text{ MJ/h} \times 24 \text{ h} \times 5 \text{ dias} \times 48 \text{ semanas}$$

$$E_{\text{Gases Combustão}} = 1.601.792,473 \text{ MJ/ano}$$

- Energia das perdas

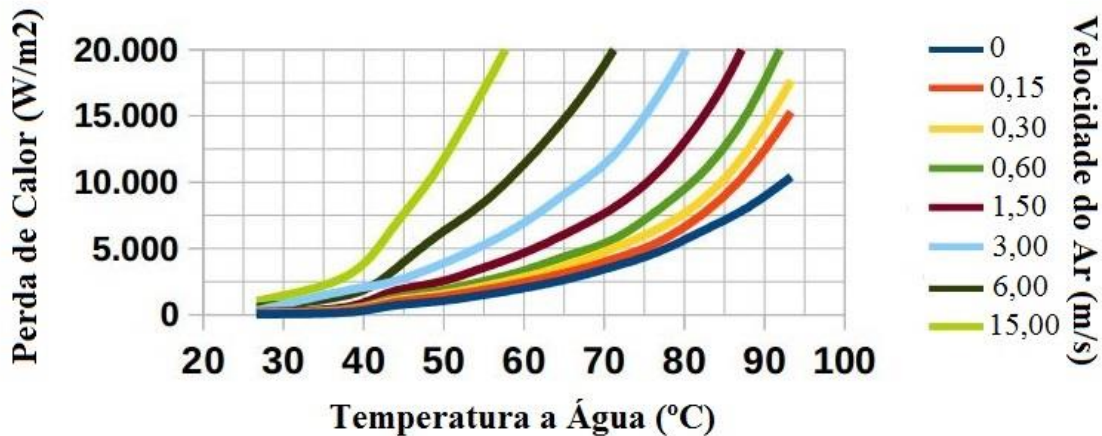


Figura 26 – Perdas de calor por evaporação da água num tanque aberto e à temperatura ambiente de 27°C [25].

As perdas nos “banhos quentes” concentram na superfície de contato com o meio ambiente e com base no gráfico da Figura 26, considerando que a velocidade do ar junto ao tanque é de 0 m/s e sendo a temperatura do tanque de 66°C, conclui-se:

$$E_{Perdas} = \text{Perdas de Calor} \times \text{Área da superfície do Tanque} \quad (17)$$

$$E_{Perdas} = 2600 \text{ W/m}^2 \times (8 \times 1) = 20,800 \text{ kW} = 20,800 \text{ kJ/s}$$

Assim, para um ano:

$$\begin{aligned} E_{Perdas} &= 20,800 \text{ kJ/s} \times 3600 \text{ s} \times 24 \text{ h} \times 5 \text{ dias} \times 48 \text{ semanas} \\ &= 431.308,800 \text{ MJ/ano} \end{aligned}$$

- Energia do gás natural

$$E_{Gás\ Natural} = E_{Saída\ Processual} - E_{Entrada\ Processual} + E_{Gases\ Combustão} + E_{Perdas} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} E_{Gás\ Natural} &= 255.845,252 - 78.926,856 + 1.601.792,473 + 431.308,800 \\ &= 2.210.019,669 \text{ MJ/ano} \end{aligned}$$

Portanto, tendo a energia 2.210.019,669 MJ/ano facilmente se obtém a quantidade de gás natural consumido:

$$\text{Caudal Mássico} = \frac{\text{Energia}}{\text{PCI}} = \frac{2.210.019,669,802}{45.100} = 49.002,653 \text{ kg/ano} \quad (19)$$

$$\text{Caudal Volúmico} = \frac{\text{Caudal Mássico}}{\text{Densidade}} = \frac{49.002,70}{0,8404} = 58.308,725 \text{ m}^3/\text{ano} \quad (20)$$

Executando, da forma acima explícita, procedeu-se à replicação dos cálculos para o tanque de acetinagem, de decapagem e de selagem a quente. Apresenta-se na Tabela 3, todos os resultados.

Tabela 3 - Resultados dos “banhos quentes” do sector de anodização.

“BANHOS QUENTES”	Tanque Desengordurante	Tanque Acetinagem	Tanque Decapagem	Tanque Selagem a Quente
Energia de Entrada Processual (MJ/ano)	78.926,856	74.120,614	80.130,393	199.124,028
Energia de Saída Processual (MJ/ano)	255.845,252	240.260,769	175.048,189	938.630,029
Energia dos Gases de Combustão (MJ/ano)	1.601.792,473	1.439.436,122	1.183.279,026	1.489.546,647
Energia das Perdas (MJ/ano)	431.308,800	431.308,800	207.360,000	4.147.200,000
Energia do Gás Natural (MJ/ano)	2.210.019,669	1.704.604,766	1.295.721,231	4.897.240,645
Caudal Mássico Gás Natural (kg/ano)	49.003	37.796	28.730	108.586
Caudal Volumétrico Gás Natural (m³/ano)	58.309	44.974	34.186	129.208

Na análise da Tabela 3, verifica-se que o consumo anual de gás natural perfaz um total de 266.674 m³/ano. É de extrema importância perceber como se pode reduzir este consumo, tornando o sistema mais eficiente. A meta será reduzir o consumo de gás natural e conseqüentemente a fatura energética. As propostas de atuação serão abordadas no ponto 4.5.

4.4.2. “Banhos frios”

Nos “banhos frios”, referentes a três tanques (anodização 1, anodização 2, anodização3), são arrefecidos por via de três permutadores de placas água/água+ácido (um por tanque). A água fria é proveniente de dois *chiller's* da *Carrier* e estão localizados no exterior da unidade fabril. O “*chiller 1*” é de maiores dimensões e está em funcionamento, quase, contínuo. Por sua vez, o “*chiller 2*” trabalha apenas quando é necessário, ou seja, quando o primeiro não consegue dar resposta ao arrefecimento requerido. Os *chiller's* situam-se muito longe dos permutadores, obrigando a uma extensa rede de tubagens (PVC – Policloroeteno) de um ponto ao outro. De referir que, entre os permutadores e os *chiller's* existe uma câmara fechada, onde se faz a permuta entre a água da rede e a água dos *chiller's*. Elaborou-se um esquema de princípio (Anexo B) para melhor compreensão do sistema de arrefecimento.



Figura 27 - Tubagens dos “banhos frios” dentro da unidade industrial.

As temperaturas, de cada tanque, são indicadas no quadro de controlo como se mostra na Figura 28. A indicação das temperaturas é fundamental para o controlo da qualidade dos banhos.



Figura 28 – Temperaturas da água arrefecida para permutar com a água dos “banhos frios”.

É então oportuno perceber as perdas associadas nas tubagens do sistema de arrefecimento dos banhos. Procedeu-se à recolha dos dados, e apresentam-se na Tabela 4 os revelantes para o estudo proposto.

Tabela 4 - Dados dos “banhos frios”.

“BANHOS FRIOS”			
Permutadores de Placas	Tanque Anodização 1	Tanque Anodização 2	Tanque Anodização 3
Volume (L)	8,4	8,4	8,4
Potência térmica (KW)	146	146	146
Peso vazio (kg)	132	132	132
Aperto máximo das placas (mm)	171	171	171
Aperto mínimo das placas (mm)	182	182	182
Pressão calculada (bar)	10	10	10
Pressão ensaiada (bar)	13	13	13
Temperatura do tanque (°C)	16,3	17,1	17,2
Temperatura da água permutadora (°C)	12,1	13,4	13,4
Chiller's	Chiller 1		Chiller 2
Potência (kW)	75		52,3
Factor de utilização (h/ano)	1.440		960
Consumo (kWh/ano)	108.000		50.208
Temperatura água entrada (°C)	7,0		6,6
Temperatura água saída (°C)	5,4		4,8
Diâmetro externo tubagens (m)	0,090		0,110
Diâmetro interno tubagens (m)	0,085		0,103
K da tubagem (W/m.°C)	0,19		0,19
K do isolamento (W/m.°C)	0,05		0,05
Espessura do isolamento (m)	0,015		0,015

Neste caso, “banhos frios”, existem ganhos de calor ao longo dos tubos de água fria provenientes dos *chiller's* até à câmara de permutação. Esses ganhos são, essencialmente, por condução através do tubo em PVC e pelo isolamento de neopreno mas também por convecção entre os fluidos e os materiais. A fim de calcular o fluxo de calor que passa através do tubo e do isolamento é necessário calcular a resistência térmica para cada camada de material. Para cilindros esta resistência térmica varia, não só com a espessura do isolamento e da sua condutibilidade térmica mas também com o diâmetro exterior do

tudo e a temperatura do material. A resistência térmica de cada “camada” (m.K/W) é calculada usando a seguinte correlação,

$$R_{Camada} = \frac{\ln \frac{r_e}{r_i}}{2\pi \times k} \quad (21)$$

em que k (W/m.K), representa a condutividade térmica do material; r_e (m) indica o raio exterior da camada e r_i (m) indica o raio interior da camada.

A resistência total do tubo, onde percorre no interior água fria, com isolamento, e no exterior está em contacto com o “ar”, pode ser calculada assim,

$$R_{Camada\ Total} = \frac{1/h_i}{2\pi \times r_i} + \sum_{k=1}^{n-1} \frac{\ln \frac{r_e}{r_i}}{2\pi \times k} + \frac{1/h_e}{2\pi \times r_e} \quad (22)$$

em que: h_i (W/m².K), é o coeficiente de transferência de calor entre o fluido interior e o material e h_e (W/m².K) é o coeficiente de transferência de calor entre o fluido exterior e o material.

Para calcular os coeficientes de transferência de calor interior, assume-se que o fluxo de calor é uniforme e o fluido em regime laminar, então pode-se determinar através do número de Nusselt, que diz,

$$Nu_D = \frac{h \times D}{k} = 4,36$$

Assim, exemplifica-se os cálculos para o “chiller 1”:

- h_i (água),

$$h_i = \frac{4,36 \times k}{D} = \frac{4,36 \times 0,5715}{0,085} = 29,315 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (24)$$

- o he (ar),

$$h_e = \frac{4,36 \times k}{D} = \frac{4,36 \times 0,026}{0,060} = 0,945 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (25)$$

Pode-se agora calcular a resistência total das camadas (tubo e isolamento):

$$\begin{aligned} R_{\text{Camada Total}} &= \frac{1/29,315}{2\pi \times 0,0425} + \frac{\ln \frac{0,0450}{0,0425}}{2\pi \times 0,190} + \frac{\ln \frac{0,060}{0,045}}{2\pi \times 0,05} + \frac{1/0,945}{2\pi \times 0,060} \\ &= 3,898 \text{ m. K/W} \end{aligned}$$

O fluxo de calor que atravessa o tubo e o isolamento é dado por:

$$\begin{aligned} q_{\text{Camada Total}} &= \frac{\Delta T}{R_{\text{Camada Total}}} \quad (26) \\ q_{\text{Camada Total}} &= \frac{5,4 - 20,5}{3,898} = -3,873 \text{ W/m} \end{aligned}$$

O valor de fluxo de calor é negativo porque o sistema está a ganhar calor, logo faz todo o sentido um valor desta natureza. Como já referido, considerando o fluxo de calor uniforme, é possível determinar a evolução da temperatura da água ao longo do tubo. A câmara termográfica permite captar a temperatura em qualquer ponto da tubagem, assim, e para a temperatura antes dos permutadores de placas temos:

$$-3,873 = \frac{T_i - 21,3}{3,898} \quad (26)$$

$$T_i = 6,2^\circ\text{C}$$

Não existe grande variação na temperatura, uma variação de 1,2 °C. Com a mesma base de cálculos descritos, replicou-se pra o “*chiller 2*”. Os resultados sumários estão expostos na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados relevantes dos "banhos frios".

“BANHOS FRIOS”	<i>Chiller 1</i>	<i>Chiller 2</i>
Coefficiente de transferência de calor interior (W/m ² .K)	29,315	24,192
Coefficiente de transferência de calor exterior (W/m ² .K)	0,945	0,810
Resistência total (m.K /W)	3,898	3,757
Fluxo de calor recebido (W/m)	3,873	3,859
Temperatura à saída do <i>chiller</i> (°C)	5,4	4,8
Temperatura de chegada à câmara de permutação (°C)	6,2	5,7

Pela análise da Tabela 5 denota-se um ligeiro incremento da temperatura desde o *chiller's* até à câmara de permuta. Aumento esse que parece aceitável, mas há sempre pontos a melhorar com vista a uma melhor eficiência do processo e dos equipamentos. No ponto 4.5.2 são analisados os resultados, bem como medidas de melhoramento.

4.4.3. Forno de lacagem

O forno de lacagem é dividido em dois fornos, o forno de segurança e o forno de serviço. Esta separação é feita para garantir que os gases de combustão não tenham contacto com os perfis de alumínio assim a *Empresa Al* garante um branco brilhante e não um “branco sujo”, daí o forno de segurança. Este forno é uma pré-câmara do forno de serviço e possui um queimador de gás natural para aquecer o ar a uma temperatura próxima dos 500°C, sendo depois insuflado para o forno de serviço por quatro ventiladores, como se pode ver

na Figura 29. Existe uma chaminé com um diâmetro de 300 milímetros para a exaustão dos gases de combustão.



Figura 29 - Motores dos 4 ventiladores do forno de lacagem.

O forno de serviço, onde entram os perfis de alumínio após a pulverização com as pistolas de pintura a pó, opera a uma temperatura na ordem dos 200°C (Figura 30). Os “atados” de perfis de alumínio, após entrarem completamente no forno de serviço, fazem esse percurso na diagonal, ou seja, entram do lado direito do forno e saem no lado esquerdo. Existem duas chaminés para extração dos gases da pintura, uma à entrada (lado direito) e outra à saída do forno (lado esquerdo).



Figura 30 - Entrada dos perfis de alumínio no forno de lacagem.

O forno possui um quadro de informativo das temperaturas dos fornos e da velocidade dos carrinhos transportadores. É importante manter a temperatura constante para um acabamento uniforme e de qualidade.



Figura 31 - Temperaturas do forno de lacagem.

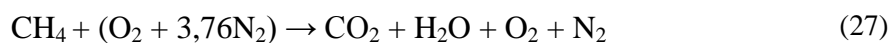
Captou-se com a câmara termográfica todas as paredes do forno de serviço e de segurança, bem como de todos os motores dos ventiladores de insuflação e exaustão de gases. Neste ponto será apurado o rendimento do forno e calculas as perdas associadas. Procedeu-se ao levantamento de todos os dados (

Tabela 6) revelantes de modo atingir o objectivo proposto.

Tabela 6 - Dados do forno de lacagem (forno de segurança e forno de serviço).

Forno de Lacagem	Forno de Segurança	Forno de Serviço
Gases Combustão		
%O ₂	1,39	-
%CO ₂	11,02	-
CO (ppm)	0	-
Excesso de ar (%)	1	-
Caudal de gases (m ³ /h)	478	-
Massa volúmica média (kg/m ³)	1,353	-
Caudal mássico (kg/h)	646,7	-
Temperatura saída (°C)	454	-
Temperatura ar admitido (°C)	40	-
C _p médio (kJ/kg.°C)	1,18	-
Dimensões e Características		
Largura (m)	5,30	4,18
Comprimento (m)	4,57	10,29
Altura (m)	1,24	6,25
Temperatura interior (°C)	503	202
Temperatura parede (°C)	69	51
k do isolamento (kcal/h.m.°C)	0,035	0,035
Espessura isolamento (m)	0,2	0,2
Características Gás Natural		
PCI (kJ/kg)	45.100	-
Densidade (kg/m ³)	0,8404	-
Caudal mássico (kg/h)	14,5	-
Condições de Operação		
Factor de utilização (h/dia)	24	24
Humidade relativa (%)	50	50
Caudal de alumínio (kg/h)	-	975
C _p alumínio (kJ/kg.°C)	-	0,921
Temperatura de entrada alumínio (°C)	-	30
Temperatura de saída alumínio (°C)	-	200

Como o gás natural é, essencialmente, metano então:



Sabendo o caudal de gás natural e dos gases de combustão na chaminé, determinou-se o número de moles para o acerto da equação.

Então:

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{14,5}{3600} = 0,0040 \text{ kg} \quad (27)$$

$$n_{\text{CH}_4} = \frac{m_{\text{CH}_4}}{M_{\text{CH}_4}} = \frac{0,004}{16,04} = 0,000252 \text{ kmol}$$

$$m_{\text{Gases}} = \frac{646,7}{3600} = 0,1769 \text{ kg}$$

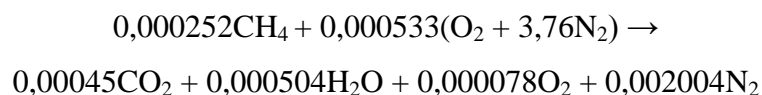
$$m_{\text{CO}_2} = 0,1769 \times 0,1102 = 0,0195 \text{ kg}$$

$$m_{\text{O}_2} = 0,1769 \times 0,0139 = 0,0025 \text{ kg}$$

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}_2}} = \frac{0,0195}{44,01} = 0,00045 \text{ kmol}$$

$$n_{\text{O}_2} = \frac{m_{\text{O}_2}}{M_{\text{O}_2}} = \frac{0,0025}{32,00} = 0,000078 \text{ kmol}$$

Assim, e com o excesso de ar de 1%, a equação acertada fica:



Depois da equação química acertada, pode-se determinar as perdas de humidade do ar de combustão ($h_g - h_f = 2372$) [26]:

$$E_{\text{Perdas Humidade Ar Combustão}} = m_{\text{Ar Seco}} \times x \times (h_g - h_f) \quad (29)$$

$$\begin{aligned} E_{\text{Perdas Humidade Ar Combustão}} &= [0,000533(32 + 3,72 \times 28,016)] \times 0,025 \times 2.372 \\ &= 4,305 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Para o cálculo do rendimento do processo de lacagem, realizou-se um balanço de energia. Como já referido, a energia de entrada no sistema é igual à energia de saída no sistema. Assim:

$$\text{Energia de Entrada} = \text{Energia de Saída} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} E_{\text{Queima}} + E_{\text{Ar Combustão}} + E_{\text{Entrada Processual}} \\ = E_{\text{Saída Processual}} + E_{\text{Gases Combustão}} + E_{\text{Perdas Processuais}} \end{aligned}$$

Para a energia de entrada: (31)

$$E_{\text{Queima}} = \dot{m}_{\text{Combustível}} \times PCI_{\text{Combustível}} = \frac{14,5}{3600} \times 45.100 = 181,653 \text{ kJ} \quad (32)$$

$$E_{\text{Ar Combustão}} = m_{\text{Ar}} \times Cp \times T = 1,016 \times 1,006 \times 40 = 40,888 \text{ kJ} \quad (33)$$

$$E_{\text{Entrada Processual}} = \dot{m}_{\text{Alumínio}} \times Cp \times T = \frac{975}{3600} \times 0,921 \times 30 = 7,483 \text{ kJ}$$

Relativamente à energia de saída: (34)

$$E_{\text{Saída Processual}} = \dot{m}_{\text{Alumínio}} \times Cp \times T = \frac{975}{3600} \times 0,921 \times 200 = 49,888 \text{ kJ}$$

(35)

$$E_{\text{Gases Combustão}} = \dot{m}_{\text{Gases}} \times Cp_{\text{médio}} \times T = \frac{646,7}{3600} \times 1,18 \times 454 = 96,236 \text{ kJ}$$

Então a energia das perdas processuais:

$$E_{\text{Perdas Processuais}} = E_{\text{Queima}} + E_{\text{Ar Combustão}} + E_{\text{Entrada Processual}} - E_{\text{Saída Processual}} - E_{\text{Gases Combustão}}$$

$$E_{\text{Perdas Processuais}} = 181,653 + 40,888 + 7,483 - 49,888 - 96,236 = 83,900 \text{ kJ}$$

As perdas associadas ao processo são, na ordem, de 84 kJ. Estas perdas representam a parte da energia que se perde nas fugas pelas paredes do forno (na recolha dos dados era notório a presença de fumos no meio ambiente) e ainda as perdas por radiação, convecção e condução no forno.

Outro objectivo é perceber o rendimento do processo, ou seja, a eficácia da energia utilizada para a lacagem do alumínio. O rendimento do processo é dado por:

$$\eta_{\text{Processual}} = \frac{E_{\text{Saída Processual}}}{E_{\text{Queima}} + E_{\text{Ar Combustão}} + E_{\text{Entrada Processual}}} \quad (36)$$

$$\eta_{\text{Processual}} = \frac{49,888}{181,653 + 40,888 + 7,483} = 0,2175 \approx 22\%$$

Obteve-se um rendimento na ordem dos 22%. É um rendimento relativamente baixo, pois o processo de lacagem é um método ineficiente.

4.5. Conclusões e propostas de melhoria do caso de estudo

Neste ponto são apresentados os resultados do ponto 4.4, assim como possíveis e recomendáveis propostas de melhoria, com vista a uma maior eficiência dos equipamentos e processos associados. De referir que as proposta baseiam-se, essencialmente, na análise das imagens termográficas recolhidas na *Empresa Al*.

4.5.1. “Banhos quentes”

Conclui-se que as perdas nos “banhos quentes” devem ser minimizadas, concretamente na área em que a água está em contato direto com o meio ambiente. Como forma de minimizar essas perdas, propõe-se a instalação de tampas nos tanques. Utilizando a analogia de uma panela ao lume, consegue-se prolongar a sua temperatura durante mais tempo caso esta possua uma tampa. A cobertura que se propõe é uma tampa com abertura ao meio, ou seja pode estar metade do tanque aberto e outra metade fechado (Anexo C). Isto torna-se importante porque os tanques possuem uma capacidade para mais do que um atado de perfis de alumínio e, normalmente, não utilizados para a sua capacidade máxima. Assim, e fazendo uma previsão pessimista, contado o tempo em que os tanques não são utilizados na totalidade ou estão apenas a ser utilizados com um atado de perfis, durante o horário de trabalho os tanques poderão estar com metade da tampa fechada. É evidente que as perdas vão baixar drasticamente.

Assumindo que as tampas possuem um isolamento de elevada eficiência, pode-se dizer que as perdas apenas vão acontecer em metade do tanque, assim e tomando por base os cálculos do ponto 4.4.1:

$$E_{Perdas} = Perdas\ de\ Calor \times \text{Área da superfície to Tanque} \quad (17)$$

$$E_{Perdas} = 2600\ W/m^2 \times (8 \times 0,5) = 10,400\ kW = 10,400\ kJ/s$$

Assim, para um ano:

$$\begin{aligned} E_{Perdas} &= 10,400 \text{ kJ/s} \times 3600 \text{ s} \times 24 \text{ h} \times 5 \text{ dias} \times 48 \text{ semanas} \\ &= 215.654.400,000 \text{ kJ/ano} \end{aligned}$$

Calculando uma nova energia do gás natural:

$$\begin{aligned} E_{Gás\ Natural} &= 255.845.252,208 - 78.926.856,288 + 1.601.792.473,882 \\ &+ 215.654.400,000 = 1.994.365.269,802 \text{ kJ/ano} \end{aligned}$$

$$Caudal\ Mássico = \frac{Energia}{PCI} = \frac{1.994.365.269,802}{45.100} = 44.220,959 \text{ kg/ano}$$

$$Caudal\ Volúmico = \frac{Caudal\ Mássico}{Densidade} = \frac{44.220,959}{0,8404} = 52.618,942 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Com a introdução desta solução obteríamos uma poupança de 4782 kg/ano de gás natural para o tanque de desengorduramento, ou seja, uma redução anual de 5690 m³.

Assim, e aplicando esta solução a todos os banhos, apresenta-se na Tabela 7 as poupanças para todos os tanques.

Tabela 7 - Resultados dos "banhos quentes" com um sistema de cobertura.

“BANHOS QUENTES”	Tanque Desengordurante	Tanque Acetinagem	Tanque Decapagem	Tanque Selagem a Quente
Energia das Perdas (MJ/ano)	215.654,400	215.654,400	103.680,000	2.073.600,000
Energia do Gás Natural (MJ/ano)	1.994.365,269	1.488.950,366	1.192.041,231	2.823.640,645
Caudal Mássico Gás Natural (kg/ano)	44.221	33.014	26.431	62.608
Caudal Volumétrico Gás Natural (m ³ /ano)	52.619	39.284	31.451	74.498
Poupança (kg/ano)	4.782	4.782	2.299	45.978
Poupança (m³/ano)	5.690	5.690	2.735	54.709

Como se pode verificar pela Tabela 7, as poupanças são significativas perfazendo um total de 57.840 kg/ano ou 68.825 m³/ano. De notar que a maior poupança acontece no tanque de selagem a quente. Esta poupança é facilmente explicável, na ordem dos 42%, pois é o tanque de maiores dimensões e com a temperatura mais elevada logo haverá mais trocas de calor e por evaporação com o meio ambiente. Esta solução foi considerada porque é de fácil execução e não é necessário mudanças no processo produtivo da *Empresa Al*. O fabrico das tampas não se prevê de grande dificuldade. É também estimável que os custos não sejam avultados e a montagem pode ser realizada na paragem semanal, não parando a produção da empresa. Com a utilização de um sistema de tampas, fica demonstrado, que as poupanças são assinaláveis.

4.5.2. “Banhos frios”

Os ganhos de energia pelos tubos, desde os *chiller's* até à câmara de permutação com água da rede, são explicados pela distância que a água tem de percorrer e pelo isolamento deteriorado. O isolamento é muito importante porque reduz os ganhos de calor e assim

minimizar-se-á a carga de refrigeração dos *chiller's*. Terá um impacto direto sobre os custos de funcionamento. Como se pode observar pela Figura 32, existem fendas no isolamento e, em quase todas, as curvas da instalação o isolamento já não existe. Uma manutenção do isolamento é crucial para a poupança de energia, e de dinheiro. É recomendável que substituam, o isolamento, por um novo de neopreno com uma espessura maior ou igual ao aplicado (15 mm).



Figura 32 – Temperaturas nos tubos e no isolamento.

A localização dos *chiller's* não é a recomendada pois, como se pode observar no Anexo B, estão um pouco distantes da câmara de permutação. Sendo a utilização dos *chiller's* apenas para arrefecer os “banhos frios” era preferível alocar os equipamentos perto da câmara de permutação. A localização atual foi a possível, porque do lado exterior da unidade industrial, onde se encontra a zona de permutação, existe uma passagem de veículos e daí a impossibilidade de instalar perto dessa zona. Conclui-se que o posicionamento dos *chiller's*, embora pudesse estar mais próxima, é a única viável para situação encontrada.

A diferença de temperatura entre a água de saída e de chegada dos *chiller's* varia entre 1,6 °C e os 2,2 °C (valores referentes ao controlador de temperatura dos *chiller's*). Em suma, nos “banhos frios” não existe muito para melhorar a nível da eficiência do processo e dos equipamentos utilizados, salvando-se o referido anteriormente.

4.5.3. Forno de lacagem

O rendimento processual de 22%, no forno de lacagem, deixa antever que as perdas de energia são grandes. Este rendimento é baixo porque o processo de lacagem por si só é ineficiente. Para além das perdas demonstradas no ponto 4.4.3, há outras que saltam logo à vista. A entrada e saída do forno estão sempre abertas, ou seja, há imensas perdas de calor por esses locais. Têm uma largura de 1 metro, aproximadamente, e de altura 3,5 metros, perfaz uma área de cerca de 3,5 metros quadrados de perdas constantes (24h/dia). Na Figura 33 é possível observar as duas portas deslizantes (entrada e saída). Visto que os perfis de alumínio apenas ocupam uma pequena parte da abertura, e têm portas deslizantes, é recomendável que se fechem as portas, o máximo possível. Garante-se a passagem dos perfis de alumínio e/ou do carrinho transportador, sem interferir com o processo produtivo, minimizando as perdas de calor.

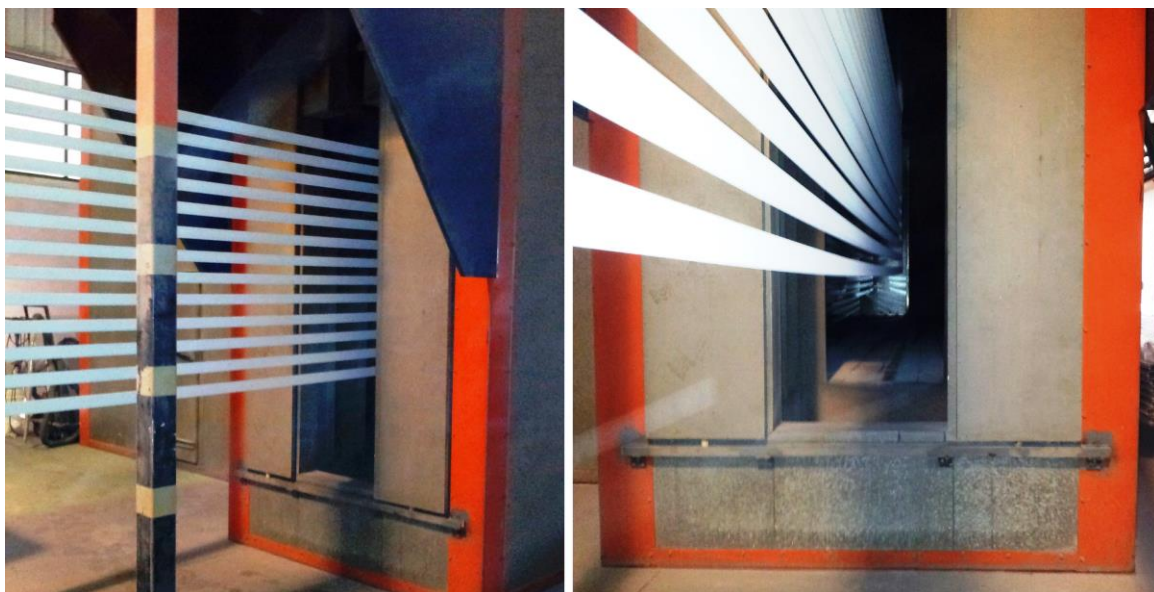


Figura 33 - Entrada do forno de lacagem e respectivas portas.

Foram ainda detectadas mais perdas com ajuda da câmara termográfica. Perdas que, sem a câmara termográfica, seriam impossíveis de ver e localizar. É aqui que as potencialidades da termografia sobressaem, quer pela facilidade de localização das

perdas, quer pela precisão dos dados recolhidos. São então apresentadas uma série de fotos recolhidas no forno de lacagem que depois foram analisadas no *software SmartView*[®]. Ferramenta, também, determinante na correta análise das imagens e fundamental para fundamentar as propostas de atuação.

Na Figura 34, na porta de acesso ao forno de segurança, é notório que o isolamento entre a porta e o forno está em muito mau estado ou quase não existe. É normal, que nessas zonas, as temperaturas sejam um pouco mais altas mas neste caso são quase o dobro. Neste caso, recomenda-se, o reforço das vedações nestas “zonas sensíveis” o que será uma mais-valia.

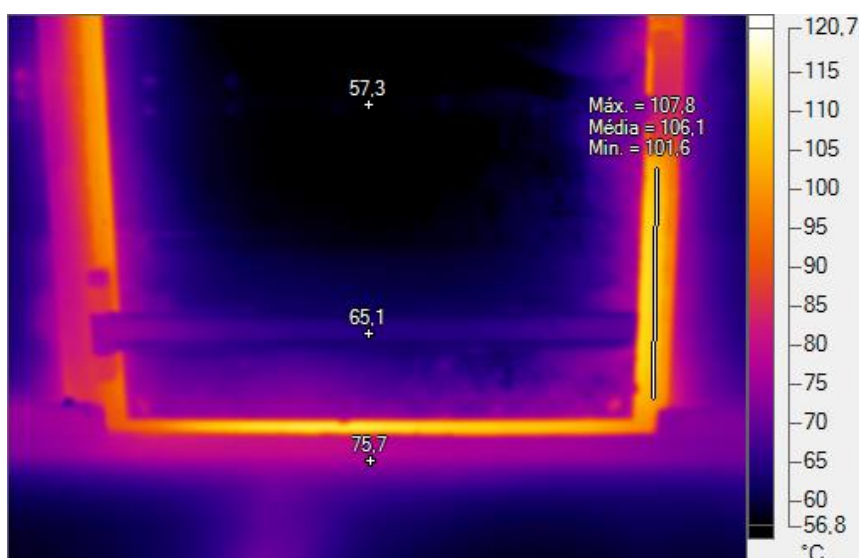


Figura 34 - Porta de acesso ao forno de segurança.

Observa-se, Figura 35, que existe uns metros quadros em que o isolamento já quase não existe. Essa zona foi aberta para uma intervenção mas quando fecharam o isolamento ou ficou muito danificado ou simplesmente não o colocaram. As temperaturas variam cerca de vinte e poucos graus com as restantes superfícies, porém esta zona possui uma área elevada. Aqui a transferência de calor é consideravelmente superior às restantes paredes. Mais uma vez se recomenda, que nesta zona, se aplique de novo o isolamento devido.

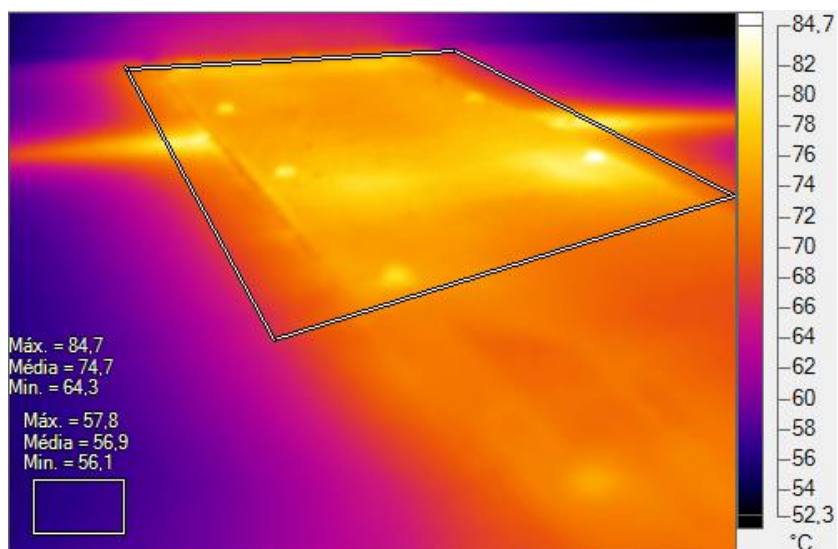


Figura 35 - Cobertura no topo do forno de segurança.

Existe ainda outra porta (Figura 36), desta vez de acesso ao forno de serviço. Mais uma vez deteta-se o mesmo problema, perdas de calor pelas extremidades da porta. As recomendações são por isso as mesmas, o reforço das vedações nessas zonas. Aqui mais se recomenda, pois a porta é de maiores dimensões. Como suplemento a reter o calor dentro no forno, e visto à maior dimensão da porta, seria interessante providir a porta de duas trancas ao invés de uma. Assim, com duas trancas na mesma direção das dobradiças, assegurava uma maior estanquidade do forno.

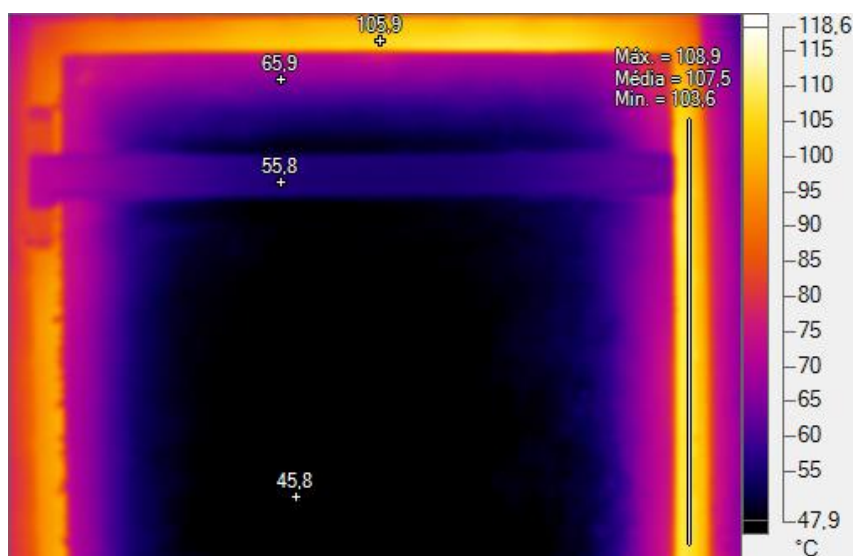


Figura 36 - Porta de acesso ao forno de serviço.

Outro dos problemas analisado foi a perda de calor pelas juntas entre as placas de isolamento das paredes do forno. Como se pode ver na Figura 37, existe uma variação de cerca de 20°C entre a temperatura no centro e nas juntas. Embora o espaço entre as placas seja reduzido, a altura considerável do forno (6,25 metros) faz com que se tornem relevantes. Assim, para minimizar as perdas, propõe-se a injeção de poliuretano nas juntas. A injeção de poliuretano tem as vantagens de formação de uma placa única sem juntas, capacidade isotérmica superior à maioria dos materiais, material inerte e imune à humidade. É o material ideal para o preenchimento das juntas entre as placas das paredes do forno de serviço.

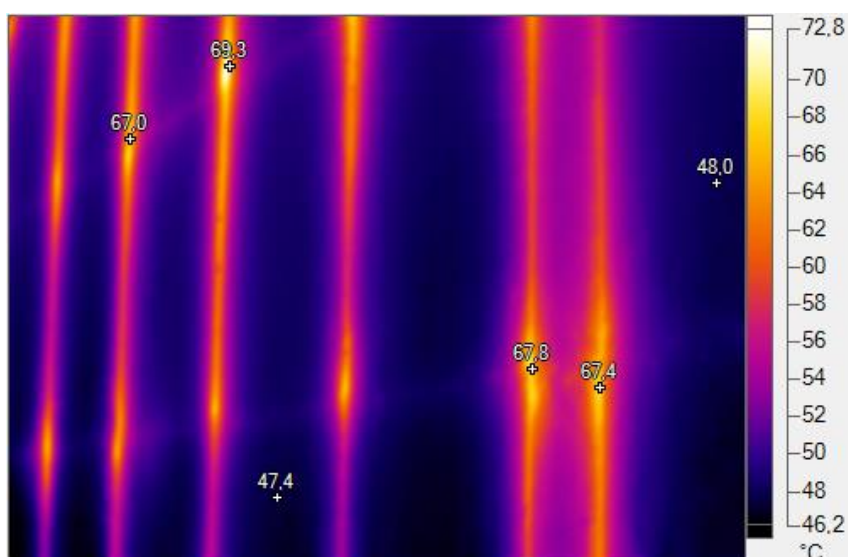


Figura 37 - Paredes laterais do forno de serviço.

Este tipo de perdas, referidas nas figuras acima, faz com que o rendimento do forno baixe e com isso a eficiência processual também seja baixa. É importante fazer manutenção nestes acessórios do forno, não sendo coisas de elevada dificuldade nem de elevado custo. A resolução destes problemas é da máxima importância, pois irá reduzir a factura energética da empresa. O uso da espuma de poliuretano poderá ser um bom aliado no combate às perdas referidas, já mencionadas a suas vantagens a nível de isolamento térmico.

Visto que o forno utiliza um sistema automatizado para manter a temperatura pretendida, a minimização das perdas fará que, conseqüentemente, o consumo de gás natural baixe. Com estas medidas a ecoeficiência da *Empresa Al* melhorará, produzindo a mesma quantidade com menos recursos e menos resíduos.

4.6. Outros trabalhos realizados no estágio curricular

Ao longo dos 6 meses de estágio outros trabalhos, de menor dimensão, foram realizados. Trabalhos que foram cruciais para a compreensão do funcionamento da câmara termográfica e para percepção do funcionamento de uma empresa, neste caso de ecoeficiência. Para além do trabalho na termografia, o contacto com outros equipamentos, como analisadores de corrente, pirómetros, foram de mais-valia. Foram realizadas auditorias energéticas a um edifício de serviços e a uma mecânica automóvel, em que o processo de registo de todos os equipamentos, tipo de iluminação e de ocupantes, serviu de base para a preparação e realização de uma auditoria energética no futuro. De salientar, que durante as auditorias, a principal preocupação era recolher o máximo de imagens termográficas. Com o recurso à câmara foi possível observar diferentes equipamentos, componentes e componentes elétricos (quadros elétricos). Descreve-se nos pontos seguintes, resumidamente, os trabalhos mais relevantes no âmbito da termografia.

4.6.1. Oficina de mecânica automóvel

A primeira experiência no “terreno” com a máquina termográfica foi numa mecânica automóvel, cliente da *Ecoinside*. A oficina, de pequenas dimensões, tinha um quadro elétrico em que os principais consumidores de energia eram o compressor, a iluminação e uma máquina de lavagem a quente. O objetivo foi analisar o quadro elétrico, o compressor e a máquina de lavagem a quente.

Na Figura 38 analisou-se os cabos de entrada e saída de corrente. Observou-se que as temperaturas andam na ordem dos 13 °C, havendo um cabo que está 1 °C mais quente que os restantes. Não é uma situação anormal, pois a diferença não é muita mas é uma

situação que se deve acompanhar e verificar se a temperatura se mantém. Caso a temperatura aumente, deve-se analisar e perceber se existe uma anomalia associada.

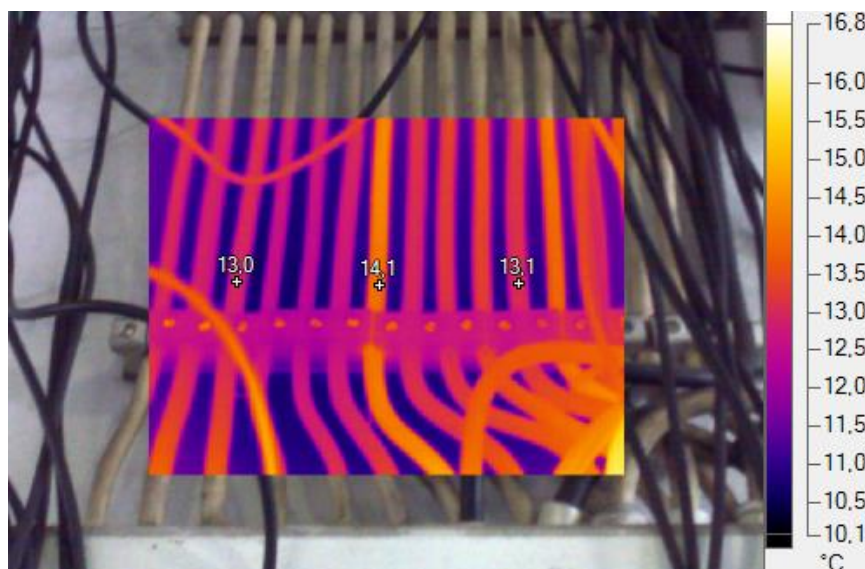


Figura 38 - Saída e entrada dos cabos de corrente do quadro elétrico.

Um equipamento importante na oficina é o compressor, pois muitas das ferramentas funcionam a ar comprimido. O compressor não funciona de forma contínua, entrando em funcionamento apenas quando necessita de repor as perdas de ar comprimido na rede. Na Figura 39 pode-se constatar que a temperatura da cabeça encontra-se com uma média de 50 °C, uma temperatura já um pouco elevada mas não crítica. A principal causa para esta temperatura, um pouco acima do desejável, é a localização do compressor. Estando situado no exterior da oficina, a cobertura contra a chuva é em PVC sem qualquer isolamento térmico. Na altura da captação das imagens, o dia estava ameno mas debaixo da cobertura estava quente.

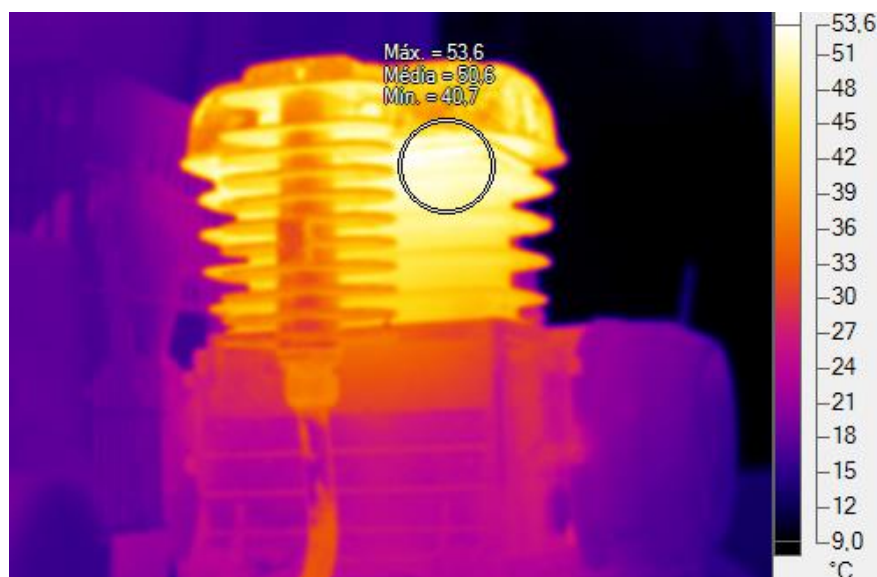


Figura 39 - Cabeça do compressor.

Na Figura 40, captada pela câmara termográfica, vê-se o motor da máquina de lavar peças a quente. Esta máquina possui uma resistência para aquecer a água da rede, e o motor serve para a bombagem e para a rotação dos jatos de água quente no seu interior. O motor apenas entra em funcionamento nos ciclos de lavagem. De notar que o equipamento se encontra no exterior da oficina, debaixo de uma cobertura. A imagem foi captada num momento em que o equipamento não estava em funcionamento, e registaram-se temperaturas na ordem dos 40 °C. Estas temperaturas são justificadas pela localização da máquina em questão. Na maior parte do dia está exposto à luz solar.

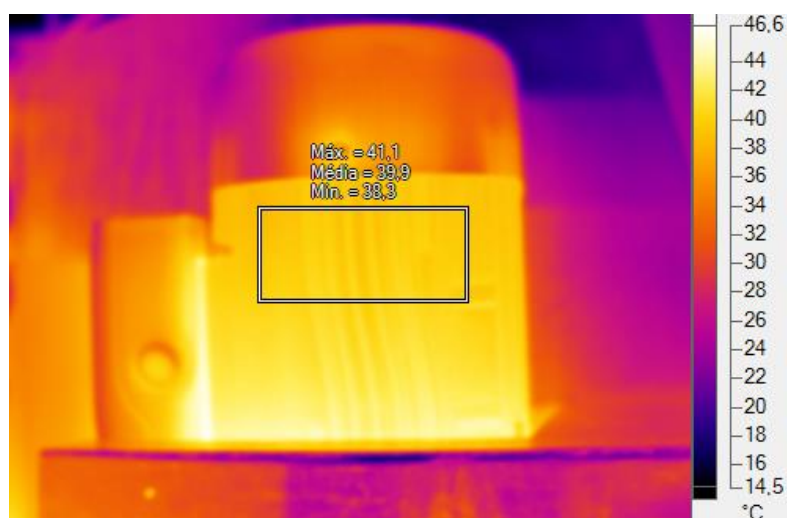


Figura 40 - Motor da máquina de lavagem a quente.

Numa análise geral, o maior problema detetado foi a localização do compressor e da máquina de lavagem a quente. Não havendo a possibilidade de mudança de local, aconselha-se a uma melhor proteção contra os agentes naturais, principalmente, contra a luz solar. A instalação de uma cobertura isolada e espaço de ventilação na envoltória dos equipamentos manterá o local mais fresco, contribuindo para um melhor funcionamento dos equipamentos bem como um prolongamento do tempo de vida dos mesmos.

4.6.2. Edifício de serviços de uma agência bancária

Este edifício com 6 pisos alberga um centro de operações de uma agência bancária em Lisboa. A maioria dos equipamentos são computadores, impressoras e fotocopiadoras, entre outros, como dispensadores de água e máquinas de café. Os andares do edifício são climatizados, e a insuflação é feita por difusores redondos sendo que o *layout* é o mesmo para todos os pisos. Recolheu-se imagens termográficas de todos os difusores do edifício, e a análise das imagens termográficas revelaram três configurações:

- Registo totalmente aberto (Figura 41);
- Registo metade aberto (Figura 42);
- Registo totalmente fechado (Figura 43).

Como se pode observar pela Figura 41, o registo está totalmente aberto, ou seja, o ar climatizado distribui-se igualmente pelo difusor redondo. A temperatura de insuflação do ar pelo difusor é de aproximadamente 15°, algo baixa, mesmo para um dia quente, sendo que o registo das imagens foi realizado num dia desses. Temperaturas tão baixas podem causar desconforto.

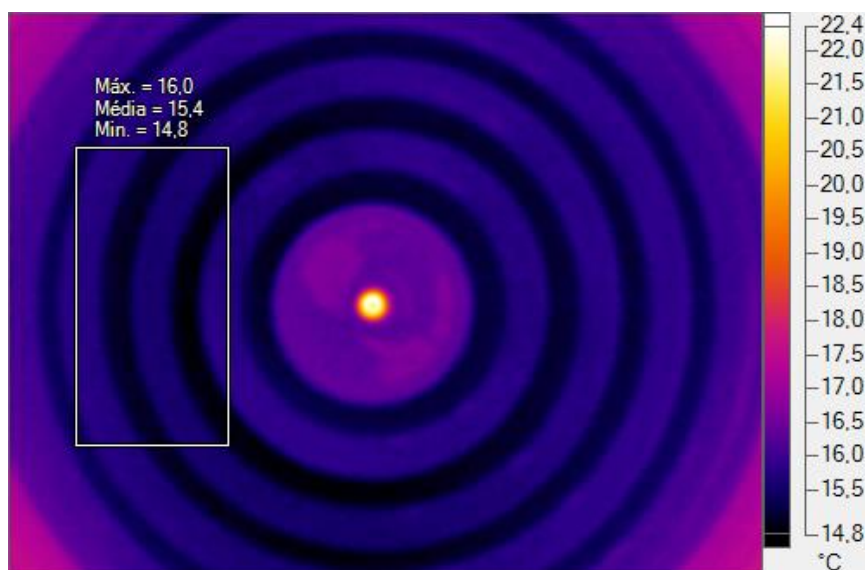


Figura 41 - Registo totalmente aberto.

Pela análise da Figura 42 é notório que só metade do registo está aberta. Do lado direito da imagem pode-se constatar que a temperatura de insuflação é de cerca de 15°C, temperatura definida para todos os difusores. Do lado esquerdo o registo está fechado, isto porque desse lado existe um posto de trabalho, causando desconforto ao ocupante e daí o fecho do registo.

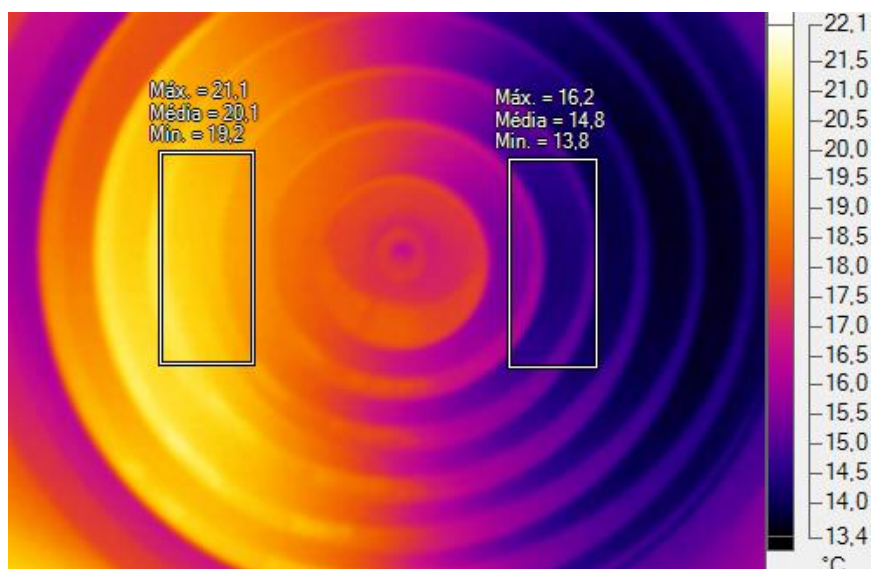


Figura 42 - Registo metade aberto.

Existem ainda difusores em que o registo está totalmente fechado (Figura 43). Nestes casos, poucos, isto acontece porque o difusor encontra-se por cima dos postos de trabalho causando desconforto aos ocupantes. A solução para acabar com o desconforto, é mesmo o fecho total do registo. Pôde-se ainda observar que a temperatura ambiente andava na ordem dos 25°C.

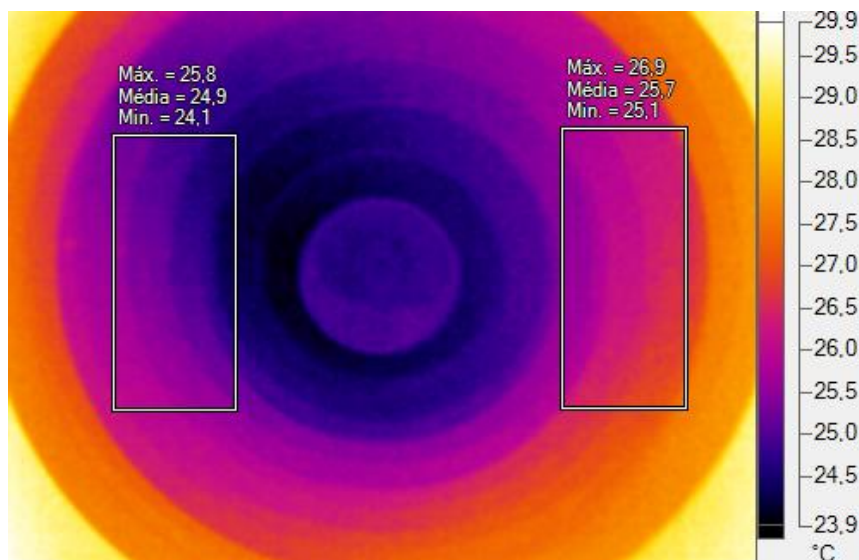


Figura 43 - Registo totalmente fechado.

Na análise geral, e como conclusão do sistema analisado, determina-se que a disposição dos difusores encontra-se errada. A má colação dos difusores ou dos postos de trabalho, faz com que surjam situações de desconforto, e em alguns casos o fecho total dos registos. A segunda observação que se faz é a baixa temperatura de insuflação, na ordem dos 15°C. Esta temperatura tão baixa pode servir como compensação dos registos fechados, ou seja, com registos fechados é necessário baixar a temperatura de insuflação para garantir o mínimo de conforto no espaço. Se todos os registos estivessem abertos a temperatura de insuflação não necessitava de ser tão baixa, facilitando a distribuição da temperatura desejada.

Como solução para o problema do desconforto dos ocupantes será uma mudança de *layout* dos pisos, visto que a mudança da disposição dos difusores necessitaria de obras e ao encerramento temporário das instalações. Uma alteração da disposição das secretarias, com a preocupação de ter os registos todos abertos, e fazer um estudo para os locais mais indicados para o ocupante estar no posto de trabalho.

4.6.3. Edifício de habitações e comércio

Este edifício, localizado no Porto, tem como maior preocupação os consumos das garagens, referentes às habitações, e dos espaços comuns no pequeno centro comercial no rés-do-chão. As garagens são todas no subsolo e têm ventiladores extratores de gases provenientes dos automóveis, estando no topo dos consumidores de energia além da iluminação (sensores de movimento). De notar que numa das garagens, grande parte, é por carros antigos e sempre que saem/entram os ventiladores estão sempre a trabalhar. Aqui procurou-se analisar, com a câmara termográfica, os quadros elétricos e os motores dos ventiladores.

Na Figura 44 pode-se ver dois disjuntores iguais em dois quadros diferentes, um em cada andar das garagens. Por comparação, as temperaturas são na ordem dos 33 °C, temperaturas que se consideram aceitáveis para disjuntores. Tendo quadros idênticos, neste caso são iguais em todos os pisos das garagens, é a situação ideal para detetar avarias. Nestes casos existe um termo de comparação e uma referência das temperaturas dos componentes dos quadros elétricos. O recomendado será registar, desde a sua instalação, periodicamente as temperaturas. Será feito o histórico de temperaturas associadas ao quadro elétrico, sendo mais fácil a detecção de possíveis anomalias. Nos quadros elétricos observados não se encontraram anomalias.

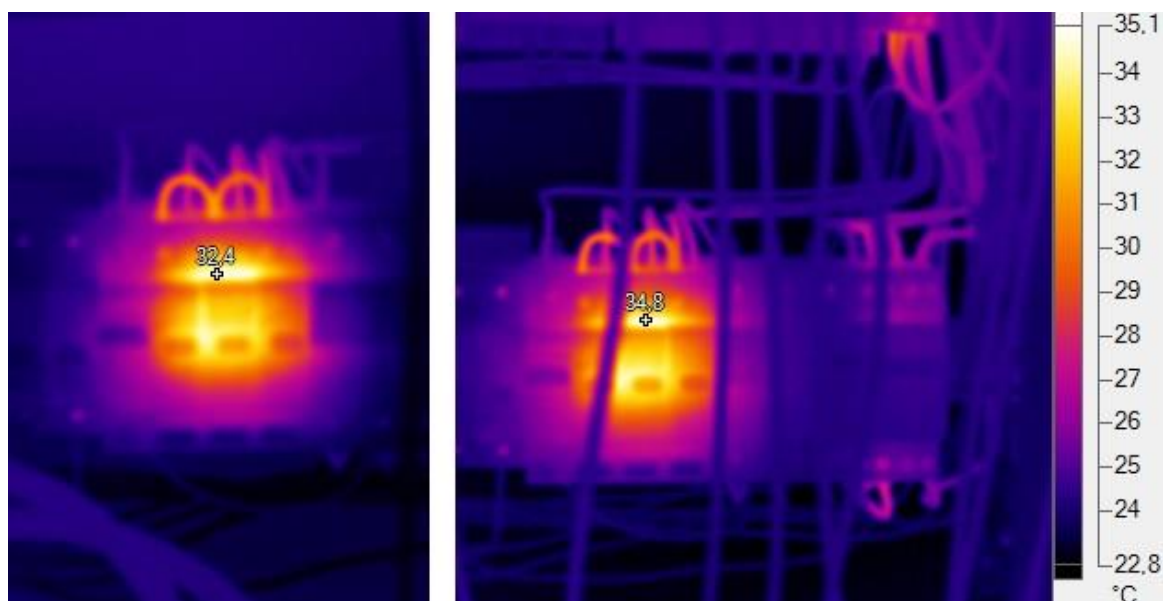


Figura 44 - Dois disjuntores em quadros elétricos diferentes.

A fotografia da Figura 45 é proveniente do sistema de extração de gases, com o motor e a correia de distribuição. No momento da captação o ventilador estava em funcionamento, sendo a situação requerida para avaliar o motor e a correia de distribuição. O motor está com uma temperatura na carcaça de, aproximadamente, 40°C. Temperatura normal para o motor com aquela função. A temperatura da correia situa-se nos 36°C, nada de preocupante. O sistema estava a funcionar nas suas plenas capacidades, e não se detetou qualquer anomalia.

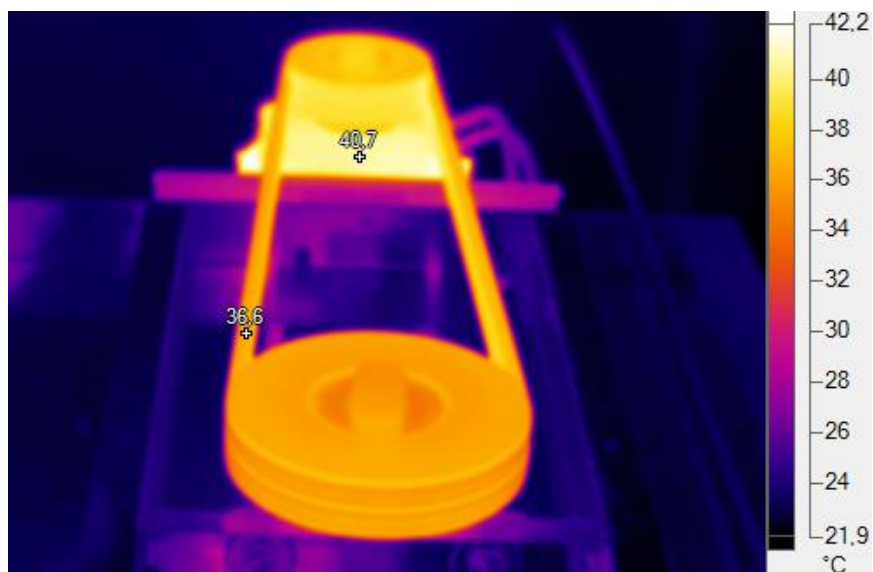


Figura 45 - Motor do ventilador extrator com visualização da correia de distribuição.

Nos equipamentos e componentes analisados não foram encontradas temperaturas desmesuradas. No que diz respeito à análise termográfica não se prevê nenhuma anomalia, estando tudo em perfeitas condições de funcionamento.

5. Conclusões

Para o caso de estudo as potencialidades da câmara termográfica foram reconhecidas positivamente. Tanto na detecção de temperaturas anómalas nos equipamentos quer no diagnóstico, contribuindo para uma resolução mais objectiva do problema associado. Também, em outras situações apresentadas, a câmara termográfica revelou-se uma mais-valia. O que leva a crer que pode representar sempre benéfico numa avaliação energética, contribuindo para uma melhor e mais célere identificação e diagnóstico de anomalias com vista à melhoria do desempenho energético de equipamentos e sistemas.

No caso de estudo, por recurso aos dados recolhidos com a câmara termográfica, e não só, propuseram-se soluções simples mas com elevado potencial para uma melhor eficiência energética dos equipamentos e dos processos associados. A detecção de perdas e ganhos térmicos foi de fácil visualização com a câmara termográfica. No momento foi possível localizar de onde surgiam as variações térmicas, em alguns casos apontando de imediato a causa dessas variações. Não se interferiu com a produção da *Empresa Al*, algo que agradou à empresa e aos funcionários.

Os dados recolhidos foram reconhecidos como fiáveis, logo a câmara termográfica pode, e deve, integrar no lote de equipamentos a utilizar na realização de uma auditoria

energética. Salvarde-se que poderá existir uma margem de erro de 1 ou 2 graus celsius na obtenção das temperaturas pela câmara termográfica.

O manuseamento da câmara termográfica, depois de se perceber as suas funcionalidades, é fácil e intuitivo. O trabalho de análise das imagens, no *software*, é igualmente simples e compreensível. É necessário investir algum tempo para perceber as potencialidades do mesmo, mas assume-se como uma ferramenta fundamental para a obtenção de temperaturas fiéis à realidade.

O facto de realizar uma dissertação num contexto de estágio curricular revelou-se como uma mais-valia. Ter um horário de trabalho, tarefas e prazos trouxe disciplina e experiência, certamente, muito útil num futuro próximo. Os trabalhos realizados fora do caso de estudo da dissertação foram importantes para perceber o funcionamento da câmara termográfica. Além disso, foi possível contactar com diferentes edifícios e equipamentos.

Como trabalhos futuros, a análise económica das medidas apresentadas poderá influenciar a empresa a realizar o investimento necessário. Ainda assim, nas propostas apresentadas, não se figuram investimentos muito elevados. São, então, mais do que recomendadas que se executem, pois algumas das medidas são apenas de manutenção periódica.

Em suma, os objectivos propostos foram conseguidos com muita satisfação.

Referências Bibliográficas

- [1] EUROPEAN COMMISSION. (2014, Abril) Web site da Comissão Europeia. [Online]. http://ec.europa.eu/clima/policies/brief/eu/index_en.htm
- [2] HAMID HUSSAIN, "The Fourth Round - A Critical Review of 1973 Arab-Israeli War," *Defense Journal*, 2002.
- [3] M. MARQUES, J. HADDAD, and A. R. S. MARTINS, *Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações*. Itajubá, Brasil, 2006.
- [4] W., QUELHAS, O., LAMEIRA, V. MEDEIROS, "A auditoria como ferramenta para a eficiência energética. Estudo de caso em duas empresas localizadas no estado do Rio de Janeiro.," in *VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão.*, 2011.
- [5] TRAÇA DE ALMEIDA. Web site do Laboratório de Gestão de Energia. [Online]. <http://lge.deec.uc.pt/ensino/gee/>
- [6] SGCIE. (2014, Maio) Web site da SGCIE. [Online]. <http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SGCIE/SGCIE/Enquadramento/Paginas/welcome.aspx>
- [7] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *Energy Management Programmes for Industry.*, 2012.
- [8] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. (2014, Maio) Web site da International Energy Agency. [Online]. www.iea.org/topics/energyefficiency
- [9] EDP. (2014, Maio) Web site da Eco EDP. [Online]. <http://www.eco.edp.pt/>
- [10] ADENE, *Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa: Um*

Enquadramento Tecnológico Sucinto. Portugal, 2010.

- [11] E. LOMAX, *Body Temperature - Modern Pharmacology - Toxicology*. Nova Yorke, 1979.
- [12] F. ADAMS, *The genuine works of Hippocrates*. Baltimore, 1939.
- [13] J. GERSHON-COHEN, *A SHORT HISTORY OF MEDICAL THERMOMETRY*.: Annals of the New York Academy of Sciences, 1964.
- [14] BRANNAN. Brannan Thermometers. [Online].
<http://www.brannan.co.uk/pages/thermometers/invention.html>
- [15] (2002, Dezembro) HARGRAVE. [Online].
<http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/tihanyi.html>
- [16] DAVID M. FORTIER, "An Affordable Thermal Sight?," *SHOTGUN - NEWS*, Agosto 2013.
- [17] EPRI and PALO ALTO, *Infrared Thermography Field Application Guide*., 1999.
- [18] THEODORE L. BERGAMAN, ADRIENSE S. LAVINE, FRANK P. INCROPERA, and DAVID P. DEWITT, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7th ed.: John Wiley & Sons.
- [19] SPECMAN, *Conceitos básicos de Termografia*. Portugal, 2010.
- [20] FLIR, *ThermaCAM Researcher Professional User's manual*., 2009.
- [21] JAIME E. VILLATE, *Eletricidade, Magnetismo e Circuitos*.: Creative Commons, 2014.
- [22] FLUKE , *Ti32, TiR32, Ti29, TiR29, Ti27, TiR27 User Manual*. Estados Unidos da América, 2009.
- [23] JOÃO PEREIRA, PAULO CARVALHO, and HELDER SANTOS. (2001) [Online].
http://in3.dem.ist.utl.pt/laboratories/EMEEcourse_2000_2002.html#ap2001
- [24] ISEP, *TABELAS TERMODINÂMICAS*., 2008.
- [25] THE ENGINEERING TOOLBOX. (2014, Setembro) Web site da Engeneering ToolBox. [Online]. <http://www.engineeringtoolbox.com>
- [26] LEONARDO RIBEIRO, *Caldeiras e Combustíveis*.: I.S.E.P., 2011.

ANEXO A

Valores de emissividade de alguns materiais disponibilizados pela FLUKE [22].

FLUKE.

Valores de emissividade de materiais comuns

Material Temperatura (°C)	Emissividade
Aço galvanizado	0,28
Aço, chapa, laminada	0,56
Aço, chapa, revestida em níquel	0,11
Aço, intensamente oxidado	0,88
Aço, recém-laminado	0,24
Aço, superfície áspera	0,96
Aço, vermelho enferrujado	0,69
Água	0,98
Alumínio, intensamente oxidado	0,25
Alumínio, polido	0,05
Alumínio, superfície áspera	0,07
Amianto, base de ardósia	0,96
Amianto, chapa	0,96
Amianto, papel	0,94
Amianto, tecido	0,78
Argila, cozida	0,91
Borracha	0,93
Bronze, polido	0,10
Bronze, poroso, áspero	0,55
Carbono, purificado	0,80
Carvão, pulverizado	0,96
Chumbo, cinza	0,28
Chumbo, lustroso	0,08
Chumbo, oxidado	0,63
Chumbo, vermelho, pulverizado	0,93
Cobre, lustrado comercial	0,07
Cobre, oxidado	0,65
Cobre, oxidado até preto	0,88
Cobre, polido, recozido	0,01
Concreto	0,54
Crômio, polido	0,10
Esmalte	0,90
Estanho, lustrado	0,05
Ferro fundido, polido	0,21
Ferro fundido; fundição em bruto	0,81
Ferro laminado a quente	0,77
Ferro, oxidado	0,74
Ferro forjado, polido	0,28

Material	Emissividade
Ferro, chapa galvanizada, lustrada	0,23
Ferro, chapa galvanizada, oxidada	0,28
Ferro, lustroso, gravado	0,16
Fita elétrica, plástico preto	0,95
Fórmica	0,93
Gelo	0,97
Goma-laca, preta, lustrosa	0,82
Goma-laca, preta, opaca	0,91
Laca, baquelita	0,93
Laca, branca	0,87
Laca, preta, lustrosa	0,87
Laca, preta, opaca	0,97
Latão, opaco, deslustrado	0,22
Latão, polido	0,03
Mercúrio puro	0,10
Negro de fumo	0,96
Neve	0,80
Níquel puro, polido	0,05
Níquel, em ferro fundido	0,05
Ouro, polido	0,02
Papel alcatroado	0,92
Papel branco	0,90
Papel preto lustroso	0,90
Papel preto opaco	0,94
Platina pura polida	0,08
Porcelana vitrificada	0,92
Quartzo	0,93
Solo congelado	0,93
Tijolo, comum	0,85
Tijolo, refratário, áspero	0,94
Tijolo, vitrificado, áspero	0,85
Tinta, acabamento prata	0,31
Tinta, óleo, média	0,94
Tungstênio	0,05
Vidro	0,92
Vidro fosco	0,96
Zinco, chapa	0,20

Fluke. Keeping your world up and running.®

Fluke Corporation
PO Box 9090, Everett, WA 98206 U.S.A.

Fluke Europe B.V.
PO Box 1186, 5602 BD
Eindhoven, The Netherlands

For more information call:
In the U.S.A. (800) 443-5853 or
Fax (425) 446-5116
In Europe/M-East/Africa +31 (0) 40 2675 200 or
Fax +31 (0) 40 2675 222
In Canada (800)-36-FLUKE or
Fax (905) 890-6866
From other countries +1 (425) 446-5500 or
Fax +1 (425) 446-5116
Web access: <http://www.fluke.com>

©2007 Fluke Corporation.
Specifications subject to change without notice.
Printed in U.S.A. 9/2007 3038318 H-EN-N Rev A

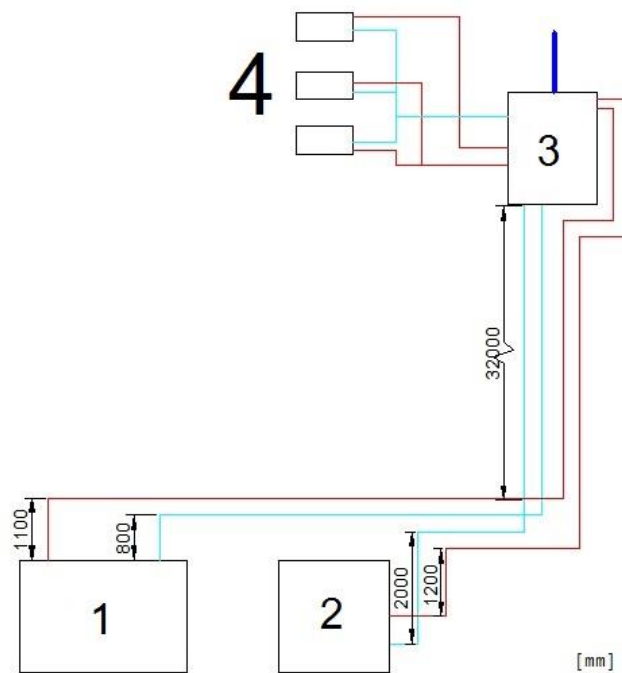


ANEXO B

Esquema de princípio dos *chiller's*, tubagens e permutadores.

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Legenda: 1-Chiller 1; 2-Chiller 2; 3-Tanque de permutacao;
4-Permutadores de placas; — Água saída chiller;
— Água entrada chiller; — Água da rede.

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

ANEXO C

Exemplo das tampas de cobertura para os “banhos quentes”.

