CAPACITAÇÃO DO SETOR DA FUNDIÇÃO: A TRANSIÇÃO PARA UMA ECONOMIA CIRCULAR E DIGITAL

ANÁLISE ENERGÉTICA – PLANO DE RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA – SETOR DA FUNDIÇÃO

Associação Portuguesa de Fundição

NORTE2020
PROGRAMA OPERACIONAL REGIONAL DO NORTE

PORTUGAL 2020

UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

FICHA TÉCNICA

Projeto
Capacitação do Setor de Fundição: a transição para uma economia circular e digital

Código Projeto
NORTE-02-0853-FEDER-037639

Promotora
Associação Portuguesa de Fundição (APF)

Elaboração e Coordenação Técnica do Manual
CCENERGIA - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.

Ano de Publicação
2022

Cofinanciamento

NORTE2020 PROGRAMA OPERACIONAL REGIONAL DO NORTE
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

CCENERGIA

SERVIÇO: ANÁLISE ENERGÉTICA – PLANO DE RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA – SETOR DA FUNDIÇÃO

CLIENTE: ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE FUNDIÇÃO

A/C: ALEXANDRA FERREIRA

N/ REF.ª: FO_141_21

PORTO, AGOSTO DE 2022

NORTE2020 PROGRAMA OPERACIONAL REGIONAL DO NORTE
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

ÍNDICE

ACRÓNIMOS 4
INTRODUÇÃO 5
1. METODOLOGIA 9
2. ENQUADRAMENTO 11
3. O PROCESSO PRODUTIVO DO SETOR DA FUNDIÇÃO 14
4. MELHORES TÉCNICAS DISPONIVEIS (MTD) 24
4.1. Técnicas para aumentar a eficiência energética 25
4.2. Técnicas para aumentar a eficiência do material 27
4.3. Conclusões gerais de MTD para fundições 28
5. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO AO SETOR DA FUNDIÇÃO 32
5.1. Caso de Estudo fundição metais ferrosos 35
5.2. Caso de estudo fundição metais não ferrosos 40
6. IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIA 46
6.1. Digitalização energética e analítica de dados 46
6.2. Rede de ar comprimido – Deteção e eliminação das fugas e ineficiências 48
6.3. Recuperação de calor dos gases de exaustão (Instalação economizador) 49
6.4. Instalação de VEV (Variador Eletrónico de Velocidade) 49
6.5. Sistema solar fotovoltaico 50
6.6. Bateria de condensadores 51
6.7. Ar comprimido – Recuperação de calor no compressor 52
6.8. Implementação ISO 50001 53
6.9. Análise resumo das oportunidades identificadas 54
7. CONCLUSÕES 55
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 57

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Distribuição mundial dos valores de produção associada à fundição 11
Figura 2.2 - Vendas em milhões de euros associadas ao setor da fundição em Portugal. 13
Figura 2.3 - Evolução da produção, em toneladas, associada a fundição de metais ferrosos e não ferrosos 13
Figura 3.1 - Distribuição típica de consumo energético em fundições 15
Figura 3.2 - Perdas de metal no processo de fundição em areia 16
Figura 3.3 - Fluxo genérico dos processos de fundição 17
Figura 5.1 -Consumo médio por fonte de energia (kWh) para o ano de referência 2021 32
Figura 5.2 - Custos médios por fonte de energia (€) para o ano de referência 2021 ... 33
Figura 5.3 - Desagregação de consumos pelas formas de energia empresa A 33
Figura 5.4 - Desagregação do consumo pelas formas de energia utilizadas na instalação em kWh 34
Figura 5.5 - Desagregação dos custos pelas formas de energia utilizadas em € 34
Figura 5.1.1 - Resumo geral das diferentes Formas de energia consumidas pela entidade A 36
Figura 5.1.2 - Desagregação dos consumos de Energia Elétrica por período tarifário da entidade A 38
Figura 5.1.3 - Desagregação do consumo de energia pelos principais consumidores da entidade A 40
Figura 5.2.1 - Resumo geral das diferentes Formas de energia consumidas em média pela fundição metais não ferrosos (entidade B e C) 41
Figura 5.2.2 - Desagregação dos Consumos de Energia Elétrica por período tarifário (média entidade B e C) 43
Figura 5.2.3 - Desagregação do consumo de energia pelos principais consumidores (média entidade B e C) 45
Figura 6.6.1 - Efeito compensação fator potência sobre a corrente que circula nos condutores a montante de um motor. 52

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

INDICE DE TABELAS

Tabela 0.1 - Classificação CAE-Rev.3 6
Tabela 0.2 - Atividades paralelas ao setor fundição 6
Tabela 0.3 - Lista de associados da APF 7
Tabela 0.4 - Quantidade de Empresas por área geográfica (Fonte: GEE) 8
Tabela 1.1 - Codificação das empresas 10
Tabela 2.1 - Valores mundiais de produção para fundição de diferentes metais. 12
Tabela 3.1 - Processos de fundição fases do ciclo produtivo 18
Tabela 3.2 - Emissões dos processos do setor da fundição 22
Tabela 3.3 - Tecnologias por fase fabril e grupo de material 23
Tabela 4.1.1 – Descritivo de técnicas para aumentar a eficiência energética 26
Tabela 4.2.1 – Descritivo de técnicas para aumentar a eficiência do material 28
Tabela 4.3.1 - Técnicas para aumento de eficiência energética 30
Tabela 4.3.2 - Técnicas de otimização da fusão dos metais 31
Tabela 5.1.1 - Resumo das formas de energia consumidas pela entidade A 35
Tabela 5.1.2 - Consumo de Energia Elétrica no período de referência da entidade A. 37
Tabela 5.1.3 - Consumo de Energia Elétrica por período tarifário da entidade A 37
Tabela 5.1.4 - Variação mensal do consumo de Gás natural no período de referência da entidade A 38
Tabela 5.1.5 - Desagregação do consumo de energia pelos principais consumidores da entidade A 39
Tabela 5.2.1 - Resumo das formas de energia consumidas em média pelas fundições não ferrosas (entidade B e C) 41
Tabela 5.2.2 - Consumo de Energia Elétrica no período de referência (média entidade B e C) 42
Tabela 5.2.3 - Consumo de Energia Elétrica por período tarifário (média entidade B e C) 42
Tabela 5.2.4 - Variação mensal do consumo de Gás natural no período de referência (média entidade B e C) 44
Tabela 5.2.5 - Desagregação do consumo de energia pelos principais consumidores (média entidade B e C) 44
Tabela 6.9.1 - Períodos de retorno de investimento para as oportunidades identificadas. (*) Ajuste face ao aumento médio dos custos de energia. 54

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

ACRÓNIMOS

APF – Associação Portuguesa de Fundição

CAEF – The European Foundry Association

WFO – World Foundry Organization

MTD – Melhores Técnicas Disponíveis

CBC – Cold blast cupola (Cúpula a jato frio)

HBC – Hot blast cupola (Cúpula a jato quente)

HC – Horas Cheias

HP – Horas Ponta

HVN – Horas Vazio Normal

HSN – Horas Super Vazio

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

VEV – Variador Eletrónico de Velocidade

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

INTRODUÇÃO

A preocupação pela redução dos consumos de energia nas empresas tem vindo a ter um papel cada vez mais relevante, sendo constante a procura e implementação de medidas e procedimentos para assegurar a racionalização e promover a eficiência energética através da introdução de novas tecnologias, implementando modificações nos processos de fabrico, mudança de comportamento, bem como medidas para a redução de consumos e custos de energia. Estas medidas incluem a eficiência, a utilização e a manutenção dos equipamentos, que posteriormente assegurará um bom desempenho energético, sem colocar em causa a qualidade da produção o que leva a uma diminuição dos custos associados.

O setor da fundição tem um papel de elevada relevância na indústria nacional e internacional por ser parte integrante da cadeia produtiva do complexo metalomecânico. A indústria da fundição insere-se em várias cadeias produtivas e desempenha um importante papel na economia, uma vez que os produtos fundidos possuem uma larga aplicação. Apesar da grande variedade de produtos, os processos produtivos apresentam um elevado grau de similaridade e os seus métodos de fundição têm vindo a ser aperfeiçoados continuamente ao longo dos anos de forma a melhorar a sua sustentabilidade devido a questões económicas, ambientais, de comercialização, entre outros.
De acordo com a classificação portuguesa das atividades económicas, revisão 3, o setor da fundição encontra-se integrado na Secção C das indústrias transformadoras sob a divisão 24 que designa as indústrias metalúrgicas de base.

A fundição consiste na transformação de metais e ligas metálicas tendo como ponto de partida o metal, sejam estes metais ferrosos ou metais não-ferrosos (CAE grupo 245) , no estado líquido que é vazado para o interior de molde. Os produtos fundidos são ainda identificados de acordo com a classificação portuguesa das atividades económicas como pode ser observado na tabela 1.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Secção	Divisão	Grupo	Classe	Subclasse	Denominação
C					Indústrias Transformadoras
	24				Indústrias metalúrgicas de base
		245			Fundição de metais ferrosos e não ferrosos
			2451	24510	Fundição de ferro fundido
			2452	24520	Fundição de aço
			2453	24530	Fundição de metais leves
			2454	24540	Fundição de outros metais não ferrosos

Tabela 0.1 - Classificação CAE-Rev.3

Apesar da classificação acima descrita, o setor da fundição possui uma vasta aplicabilidade abrangendo outros CAE alem do 245 contemplando um conjunto de atividades paralelas que se relacionam com a preparação de moldes e com o acabamento das peças fundidas, conferindo-lhes as características necessárias através de processos que podem incluir a rebarbação, o tratamento térmico de superfícies, ou a soldadura de peças. Constituem exemplos os apresentados na tabela 2.

Secção	Divisão	Denominação
C	**25**	Fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos
	26	Fabricação de equipamentos informáticos, equipamento para comunicações e produtos eletrónicos e óticos
	27	Fabricação de equipamento elétrico
	28	Fabricação de máquinas e de equipamentos, n.e.
	29	Fabricação de veículos automóveis, reboques, semi-reboques e componentes para veículos automóveis
	30	Fabricação de outro equipamento de transporte
	32	Outras indústrias transformadoras

Tabela 0.2 - Atividades paralelas ao setor fundição

A Associação Portuguesa de Fundição, doravante designada por APF, reúne as mais representativas fundições nacionais, que na sua totalidade representam cerca de 90% da produção de fundidos em Portugal. Esta representa 48 associados (entre eles fundições e fornecedores) identificando-se na tabela seguinte as 33 fundições:

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Tipo fundição	Instalação	CAE	Designação CAE
Ferrosos	AAPICO MAIA, S.A.	29320	Fabricação de outros componentes e acessórios para veículos automóveis
	ARSOPI	28930	Fabricação de máquinas para as indústrias alimentares, das bebidas e do tabaco
	CIF – COMPANHIA INDUSTRIAL DE FUNDIÇÃO, S.A.	24440	Obtenção e primeira transformação de cobre
	CRUZ MARTINS & WAHL, LDA	24510	Fundição de ferro fundido
	DURITCAST S. A.	24510	Fundição de ferro fundido
	FÁBRICA VISÃO, LDA	24510	Fundição de ferro fundido
	FERESPE – FUNDIÇÃO DE FERRO E AÇO, LDA	24520	Fundição de aço
	FUCOLI-SOMEPAL – FUNDIÇÃO DE FERRO, S.A.	24510	Fundição de ferro fundido
	FUNDIÇÃO DO ALTO DA LIXA, S.A.	24520	Fundição de aço
	FUNDIÇÃO PENEDO BEIRA, LDA	24510	Fundição de ferro fundido
	FUNFRAP – FUNDIÇÃO PORTUGUESA, S.A.	24510	Fundição de ferro fundido
	ZOLLERN & COMANDITA	24520	Fundição de aço
Não ferrosos	CASTAL	24540	Fundição de outros metais não ferrosos
	CIFIAL, S.A.	28140	Fabricação de outras torneiras e válvulas
	DELABIE SOCIEDADE UNIPESSOAL, LDA	28140	Fabricação de outras torneiras e válvulas
	FAB – FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIOS DE BRAGA	24540	Fundição de outros metais não ferrosos
	FIRMAGO – FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIOS, S.A.	24540	Fundição de outros metais não ferrosos
	FREITAS & DORES, LDA	24540	Fundição de outros metais não ferrosos
	FUNDIÇÃO DE ÉVORA, LDA	24540	Fundição de outros metais não ferrosos
	FUNDÍNIO, S.A.	29320	Fabricação de outros componentes e acessórios para veículos automóveis
	FUNDIVEN – FUNDIÇÃO VENEZUELA, S .A.	24540	Fundição de outros metais não ferrosos
	JOÃO VIEIRA DE CAMPOS, LDA	25991	Fabricação de louça metálica e artigos de uso doméstico
	JÚLIO PEREIRA GOMES & FILHOS, L	24540	Fundição de outros metais não ferrosos
	LABINA – FUNDIÇÃO INJETADA, LDA	24540	Fundição de outros metais não ferrosos
	M. ANTÓNIO SILVA, LDA	24440	Obtenção e primeira transformação de cobre
	METALÚRGICA DE LOUROSA	24540	Fundição de outros metais não ferrosos
	MITJAVILA S.A.	25992	Fabricação de outros produtos metálicos diversos, n.e.
	PRIFER	24540	Fundição de outros metais não ferrosos
	SCHMIDT LIGHT METAL – FUNDIÇÃO INJECTADA, LDA.	29320	Fabricação de outros componentes e acessórios para veículos automóveis
	SOCIEDADE TRANSFORMADORA DE ALUMÍNIOS, S.A.	25720	Fabricação de fechaduras, dobradiças e de outras ferragens
	SONAFI – SOCIEDADE DE FUNDIÇÃO INJECTADA, S.	24530	Fundição de metais leves
Ferrosos & Não Ferrosos	FELINO – FUNDIÇÃO E CONSTRUÇÕES MECANICAS, S.A.	28930	Fabricação de máquinas para as indústrias alimentares, das bebidas e do tabaco
	OLIMAR	28992	Fabricação de outras máquinas diversas para uso específico, n.e.

Tabela 0.3 - Lista de associados da APF

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Para além das fundições associadas da APF, foram ainda identificadas outras empresas que poderão ser associadas ao sector da fundição, ainda que de menores dimensões/produções. No ano de 2019 foi apurada a existência no total de 128 empresas registadas do Grupo 245, Fundição de metais ferrosos e não ferrosos, tendo diminuído para 120 em 2020, encontrando-se distribuídas geograficamente de acordo com a seguinte tabela:

Região	2019	2020
Norte	67	63
Algarve	0	0
Centro	39	38
Área Metropolitana de Lisboa	15	12
Alentejo	6	6
Região Autónoma dos Açores	0	0
Região Autónoma da Madeira	1	1

Tabela 0.4 - Quantidade de Empresas por área geográfica (Fonte: GEE)

Em 2020 não foram instaladas novas fundições em Portugal, no entanto, foram feitos investimentos nas fundições existentes para impulsionar a melhoria dos processos. Os investimentos globais no setor dos metais não ferrosos o decorrer do ano de 2020 foi cerca de 20,2M€, principalmente nas fundições de Alumínio. No setor dos metais ferrosos, em igual período, foi cerca de 9,6M€, suportado principalmente pelas fundições de ferro.[1]

No âmbito do Projeto “Capacitação do Sector da Fundição: A Transição para uma Economia Circular e Digital” coordenado pela APF, ao abrigo do Programa Norte 2020, é elaborada uma Análise Energética do Setor que visa otimizar os métodos de gestão de energia, auxiliando as empresas a perceber o potencial de poupança e adotar soluções mais adequadas. Desta análise resultará um diagnóstico e plano de otimização de comportamentos e infraestruturas, contemplando a identificação de oportunidades de melhoria associadas ao uso e consumo de energia neste setor.

Pretende-se que este documento possa vir a ser utilizado como referência para que as indústrias do sector da fundição possam alcançar maiores níveis de desempenho no consumo dos recursos energéticos por via de implementação das oportunidades de melhoria identificadas.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

1. METODOLOGIA

Com vista a elaboração do presente trabalho, numa primeira fase, elaborou-se uma pesquisa bibliográfica extensiva, com recurso a livros, artigos, reportagens, documentos oficiais e trabalhos científicos, como teses e dissertações com dados referentes ao setor da fundição através de diferentes fontes de informação.

Com vista a definição de um plano de racionalização que vá de encontro a uma maior eficiência, redução do desperdício e as perdas de energia, elaborou-se posteriormente uma análise às técnicas, processos e sistemas com particular destaque para as Melhores Técnicas Disponíveis (MTD) no setor da Fundição.

Adicionalmente e de forma a comprovar empiricamente as análises elaboradas anteriormente foram selecionadas entidades tendo em conta um conjunto de critérios (dimensão da instalação, dimensão da empresa, processos produtivos) para identificar entidades representativas do setor procedendo-se à seleção de três empresas para serem alvo do trabalho de campo de recolha de dados que melhor se enquadravam em virtude das especificidades e também da disponibilidade das mesmas.

Após a seleção das três entidades, foi realizado um levantamento no terreno de toda a informação necessária para efetuar a caracterização das instalações e os seus consumos energéticos. Este levantamento de informação foi realizado através de:

- Pedido e recolha de dados referentes as diferentes instalações tais como faturas de energia, plantas, produções mensais, entre outros;
- Visita as instalações das empresas selecionadas

Os dados adquiridos decorrentes da visita às instalações foram enquadradas na verificação e caracterização das instalações e consumos de energia, determinação dos valores de consumos e custos específicos de energia, obtenção dos diagramas de carga, balanço energia/massa dos principais equipamentos consumidores de energia, análise e enquadramento operacional de medidas de economia e racionalização de energia.

Na visita à instalação a metodologia de análise aplicada teve como objetivo a desagregação dos vários consumos de energia pelos diversos setores e principais equipamentos consumidores, o que implicou um conjunto de etapas, que se referem de seguida:

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

- Identificação e localização dos quadros elétricos existentes;
- Identificação dos circuitos de elevado conteúdo energético;
- Identificação dos sistemas/secções ou equipamentos alimentados pelos quadros elétricos identificados;
- Identificação dos consumidores de energia mais representativos/relevantes.

No decorrer do trabalho de campo, foram levadas a cabo diversas ações que visam obter o máximo de informação sob o ponto de vista energético da instalação, de modo a compreender o seu funcionamento e permitir propor soluções que aumentem a eficiência dos seus principais equipamentos e sistemas consumidores.

A informação recolhida permitiu caracterizar de uma forma geral, as três entidades do setor da fundição, bem como aferir acerca da situação energética neste setor. Os dados solicitados são referentes ao ano 2021. De modo a manter a privacidade das empresas, foi adotada uma codificação alfabética. A tabela seguinte mostra a codificação atribuída às empresas, bem como a NUT (Nomenclatura de Unidade Territorial),o setor a que pertencem e o tipo de fundição.

Designação das Fundições	NUT III	Tipo de Fundição	CAE
A	Região de Coimbra	Ferrosos	24510 - Fundição de Ferro Fundido
B	Área Metropolitana do Porto	Não Ferrosos	29320 - Fabricação de outros componentes e acessórios para veículos automóveis
C	Área Metropolitana do Porto	Não Ferrosos	29320 - Fabricação de outros componentes e acessórios para veículos automóveis

Tabela 1.1 - Codificação das empresas

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

2. ENQUADRAMENTO

A energia assume, atualmente, um papel fundamental nas organizações, independentemente do tipo de indústria ou da área de negócio, devendo ser, por esse motivo, considerada tão relevante quanto o trabalho, o capital ou as matérias-primas.

Com um valor de produção mundial de cerca de 110 milhões de toneladas, o setor da fundição apresenta-se como uma indústria de impacto significativo no contexto mundial, quer a nível económico quer a nível energético.

O European Foundry Association (CAEF) é uma organização que lida com questões relacionadas com a fundição, a nível económico, técnico, legal e social. É constituída por associações de fundição de 22 países europeus, entre os quais figura Portugal, com a Associação Portuguesa de Fundição. O contributo da CAEF para os valores globais de produção anual é evidenciado pela figura seguinte.

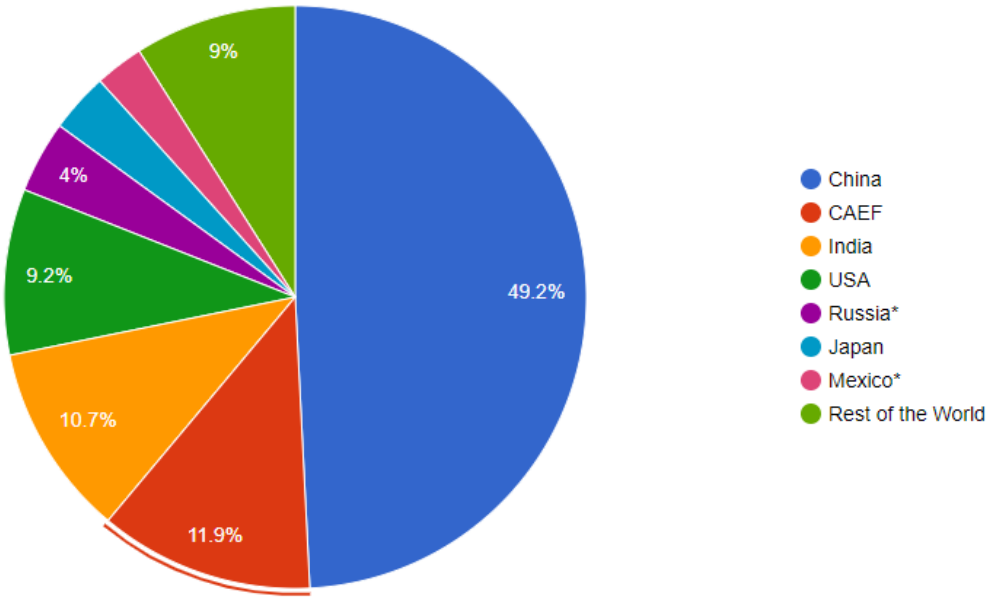

Figura 2.1 - Distribuição mundial dos valores de produção associada à fundição

A tabela 5 apresenta valores de diferentes metais fundidos em 2019 de acordo com a WFO (World Foundry Organization).

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Produção mundial 2019 (milhões de toneladas)									
Ferro cinzento	Ferro dúctil	Ferro maleável	Aço	Cobre	Alumínio	Magnésio	Zinco	Outros não Ferrosos	Total
51,19	23,66	0,70	10,09	1,90	17,21	0,06	0,64	1,45	109,06

Tabela 2.1 - Valores mundiais de produção para fundição de diferentes metais.

Os 3 países com valores de produção, associado ao setor da fundição, mais elevados são a China (cerca de 50% do valor global mundial), a Índia e os Estados Unidos [2].

Só na Europa, atualmente existem cerca de 6300 empresas de fundição de metal, gerando um valor de produção de cerca de 43 biliões de euros. Apesar de cerca de 70% dessas empresas serem de pequena dimensão (possuindo menos de 50 funcionários), esta indústria disponibiliza um número significativo de postos de trabalho. O setor conta com mais de 290 mil pessoas empregadas, recrutando em média cerca de 20 mil colaboradores anualmente, e ainda conta com mais de 100 mil pessoas com empregos associados a empresas em indústrias fornecedoras diretamente relacionadas com o setor da fundição.

Existem seis países que dominam a indústria europeia da fundição, são estes a Alemanha, Turquia, França, Itália, Espanha e Polónia, representando 79,8% da produção de peças fundidas de metais ferrosos. No que diz respeito a produção de peças fundidas de metais não ferrosos, a Alemanha e Itália representam 43,2% da produção total europeia[3].

Em Portugal, a indústria de fundição tem evidenciado um crescimento contínuo ao longo dos anos estabelecendo em 2019 o melhor número de sempre nas vendas de fundidos ferrosos e não ferrosos, 634 milhões de euros. No ano seguinte, 2020, o setor da fundição obteve um decréscimo de cerca de 15% do número de vendas diminuindo o total de vendas para 536 milhões de euros. Este ano, foi um ano marcado pela pandemia do COVID-19, tendo esta doença profundas consequências na economia global, e Portugal, tal como o sector da fundição não foi exceção.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

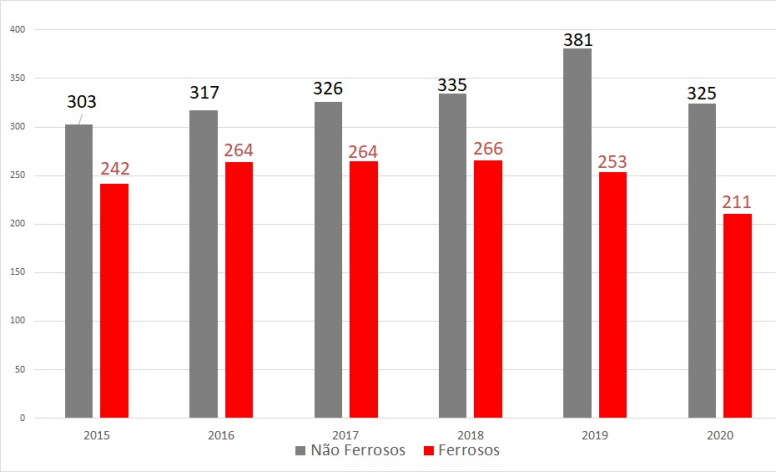

Figura 2.2 - Vendas em milhões de euros associadas ao setor da fundição em Portugal.

A figura 2.3 representa a evolução da produção atribuída ao setor da fundição entre 2015 e 2020 em Portugal.

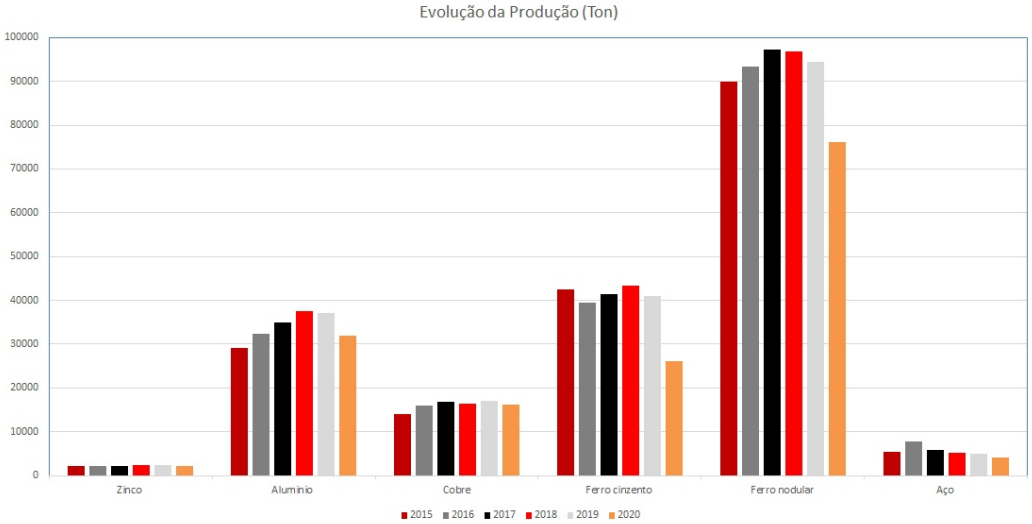

Figura 2.3 - Evolução da produção, em toneladas, associada a fundição de metais ferrosos e não ferrosos

As empresas do setor da fundição, de uma forma geral devido aos recursos utilizados, são já modelos de produção com uma componente relativamente alta face a eficiência no geral. Os seus produtos acabados poderão ser o resultado da inclusão em parte de materiais reciclados ao nível dos materiais de moldação ou capacidade de produção de energia térmica para fins próprios.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

3. O PROCESSO PRODUTIVO DO SETOR DA FUNDIÇÃO

A fundição é o processo de criação de objetos de metal derramando metal líquido em moldes, onde arrefece e solidifica na forma do molde. Embora a premissa seja simples, existem muitas variações nos métodos de fundições de metais. Para levar um objeto da ideia à realidade são especificadas as necessidades físicas e estéticas do produto final. A complexidade deste, bem como as tensões que o produto final deve suportar, ajudam a determinar o metal. O comportamento do metal nos estados líquidos, sólido e em fase de solidificação determinará os requisitos para o molde.

Tipicamente, os processos de fundição são vistos como extremamente exigentes, no que toca às necessidades de energia. Por este motivo, poupar no setor da fundição significa não só economizar grandes quantias monetárias, mas também reduzir significativamente as emissões. Estas economias dependem de aspetos técnicos, mas também dependem de fatores relacionados com a ação humana quer ao nível das condições de operação dos equipamentos quer ao nível da manutenção dos mesmos.

O *layout* de uma fundição depende em grande parte do tamanho das peças fundidas e o tamanho da série. As fundições podem ser classificadas de acordo com o tipo de metal fabricado, ou seja, uma fundição ferrosa ou não ferrosa, de acordo com o tipo de molde, permanente ou não permanente e também pelo tipo de técnicas aplicadas no processo. Uma classificação dos diferentes tipos de fundição foi desenvolvida pelo setor e consiste em seis clusters diferentes [4]:

- Fundições de ferro para produção em série (incluindo fundição centrífuga): estas fundições geralmente empregam técnicas de moldação automática e fabricam pequenas peças fundidas;
- Fundições de ferro para fundição simples (incluindo fundição contínua): estas geralmente empregam técnicas de moldação manual e fabricam peças de maiores dimensões;
- Fundições de aço;
- Fundições de metais não ferrosos empregando técnicas de fundição em areia;
- Fundições de metais não ferrosos empregando fundição por gravidade ou fundição sob baixa pressão (incluindo fundição contínua ou centrífuga);
- Fundições de metais não ferrosos empregando fundição sob pressão.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Um processo típico de fundição apresenta várias atividades:

- fusão da matéria-prima (*melting*);
- manutenção de temperatura de operação (*holding*);
- tratamento térmico e/ou químico (*refining*);
- vazamento do metal para o molde, na vertente de fundição em areia (*casting*), ou alimentação da câmara de injeção e posterior injeção do molde, a alta pressão, na vertente de fundição injetada;
- remoção do material excedente (*fettling*), maquinação e acabamento;
- controlo de qualidade.

Em todas estas atividades existem perdas de material e de energia. Existem também outros processos, como a compressão de ar, que apesar de não se relacionarem diretamente com a fundição do metal, geram consumos de energia significativos.

O gráfico que se segue representa, segundo DETR(1997), o consumo de energia associada a diferentes processos na indústria da fundição.

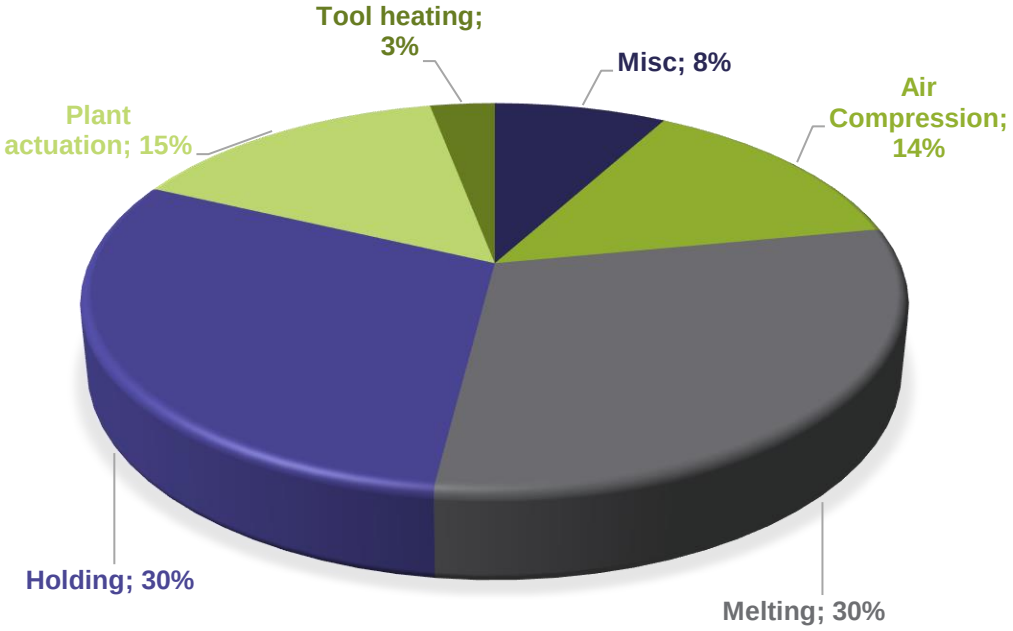

Figura 3.1 - Distribuição típica de consumo energético em fundições

O tipo de fundição bem como a matéria-prima influenciam os consumos envolvidos no processo. No exemplo da figura seguinte, apresenta-se o processo convencional de fundição em areia usando um diagrama de Sankey. Assumindo 1kg de metal fundido,

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

após as diferentes etapas de operação, o fundido final pesa apenas 0,27kg. Portanto, a eficiência operacional do material deste processo de fundição é cerca de 27%. Para uma fundição convencional, 1kg de fundição requer 3,7kg de matéria-prima e material reciclado.

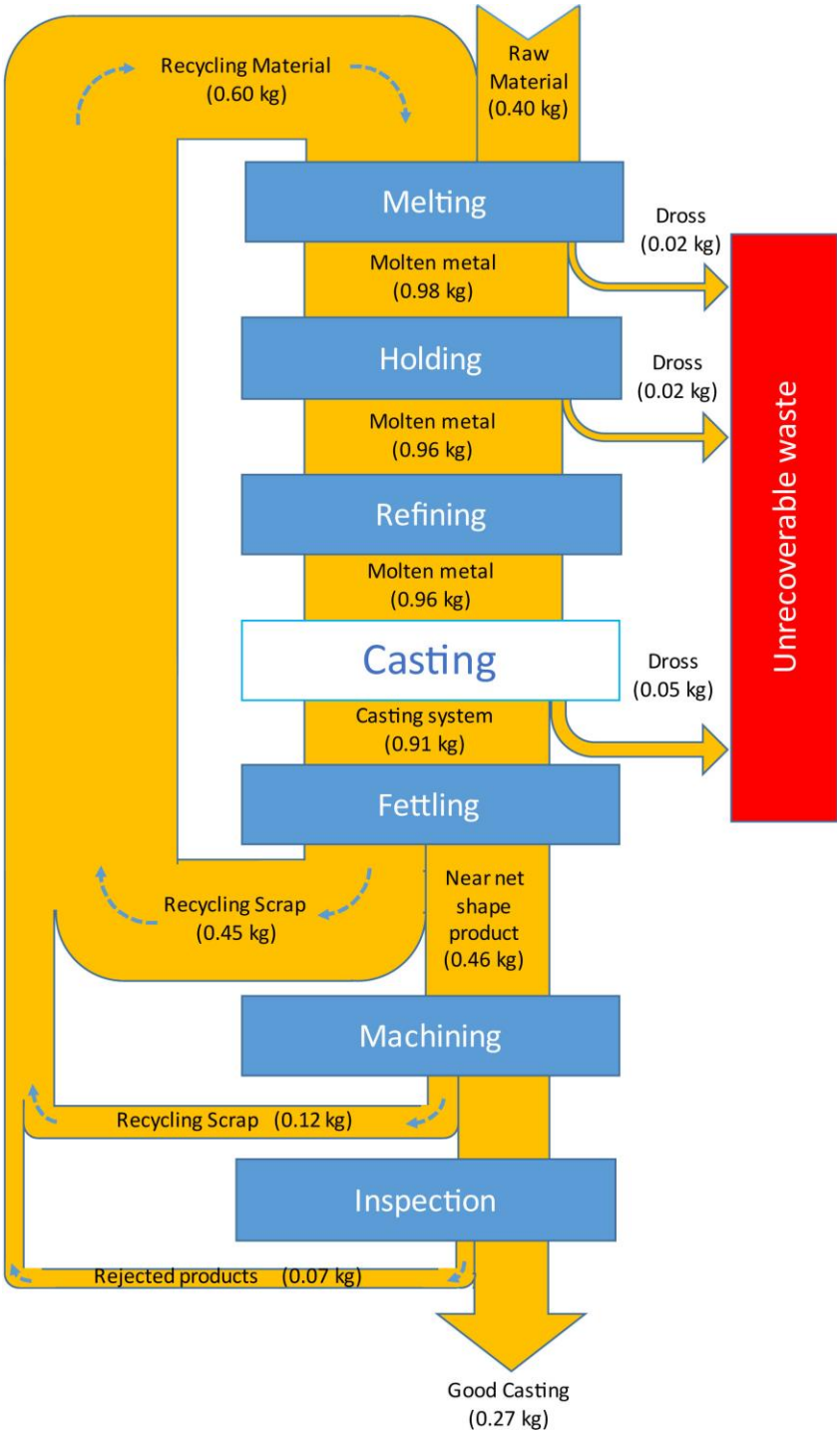

Figura 3.2 - Perdas de metal no processo de fundição em areia

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

A figura seguinte representa de uma forma abrangente as entradas e saídas dos processos do setor da fundição [5]. A etapa “Fusão” mencionada no centro da figura abrange também todas as operações de moldação.

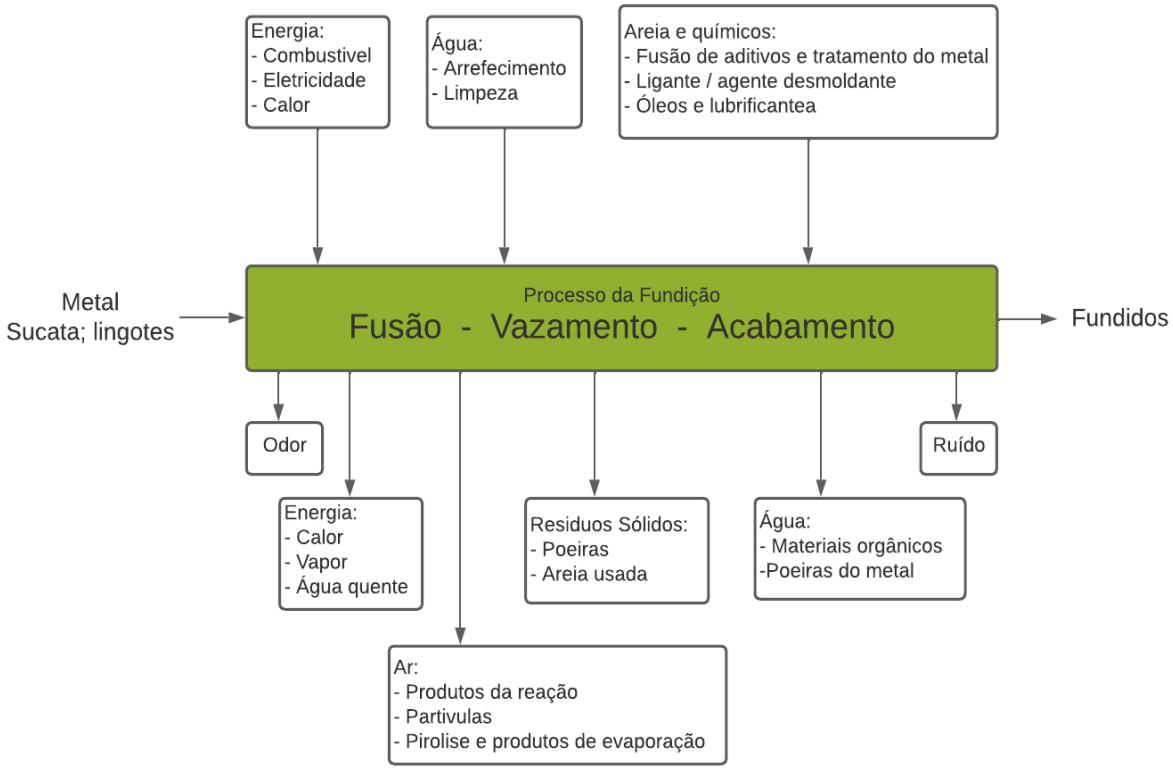

Figura 3.3 - Fluxo genérico dos processos de fundição

O número de processos de fundição é vasto, no entanto todos eles têm em comum, como referido anteriormente, o facto da forma final do fundido ser conseguida por vazamento de um banho de uma liga metálica numa cavidade moldante, permanente ou destrutível. Os processos de fundição utilizados em Portugal são:

- Fundição em areia verde;
- Fundição por injeção;
- Fundição em coquilha;
- Fundição por cera perdida, ou fundição de “precisão”;
- Fundição por centrifugação, sendo este muito pouco utilizado.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Tal como em todas as indústrias, o processo produtivo é iniciado nos armazéns de matérias-primas e é concluído nos armazéns de produtos (fundidos) finalizados. Na tabela seguinte são apresentados os processos de fundição e as respetivas fases do ciclo produtivo.

Fases		Tipos de fundição			
		Areia	Injetada	Coquilha	"Precisão"
1	Preparação das cargas de fusão	√	√	√	√
2	Preparação das areias (de moldação)	√			
3	Fusão				
	Fusão elétrica por indução	√			√
	Fusão elétrica por resistências em forno de cadinho		√	√	
	Fusão a gás em forno de cadinho		√	√	
	Fusão a gás em forno de soleira inclinada		√		
4	Fabrico de machos	√		√	
5	Moldação	√			√
6	Pré-aquecimento das moldações e remoção da cera				
7	Vazamento	√		√	√
8	Injeção		√		
9	Desmoldação (1)	√	√	√	√
10	Acabamento (2)	√	√	√	√
11	Controlo da Qualidade	√	√	√	√

Notas:
(1) Designada como Abate, na fundição em areia
(2) Inclui granalhagem, corte de gitos e alimentadores, rebarbagem, lixamento e polimento e cinzelamento

Tabela 3.1 - Processos de fundição fases do ciclo produtivo

Preparação das cargas de fusão (matérias-primas metálicas)

Esta fase constitui o início de todo o processo produtivo com vista a obtenção da peça propriamente dita. As cargas metálicas, quer nas fundições de ligas ferrosas, que nas de ligas não ferrosas, possuem dois tipos de componentes básicos:

- Lingote – este é um produto com um peso controlado para possibilitar a dua manipulação manual, normalmente inferior a 10kg por unidade, e uma composição química entre limites bem estabelecidos. Utiliza-se quando necessário, no fabrico de ferros fundidos, ligas de alumínio e do latão.
- Retornos de fundição – tipicamente gitos e alimentadores e peças não conformes, agrupados por classe de liga.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

A preparação das cargas é feita seguindo um objetivo de composição química final previamente determinado, que foi selecionado de acordo com o tipo de peça a produzir. Nas fundições de metais ferrosos a movimentação das cargas faz-se de acordo com o peso e/ou volume da carga a preparar.

Preparação das areias (matéria-prima não metálica)

Esta fase consiste na preparação da areia que constituirá a cavidade moldante (juntamente com os machos), a partir de areia de fundição, ligantes e aditivos para areia, resinas e catalisadores entre outros.

Na preparação das areias há que distinguir os sistemas de moldação em areia verde dos de areia auto-secativa (areia com presa química). Na primeira é empregue areia, normalmente de sílica, mas também podendo ser de zircónia e um ligante tipo argila, a bentonite e diversos aditivos. Na areia auto-secativa o ligante é uma resina catalisada por um produto apropriado que tanto pode ser um ácido ou um gás. Em ambos os sistemas, é recuperada uma parte substancial da areia, sendo que nos sistemas de areia verde a recuperação pode chegar a valores acima dos 90%.

Fusão

Nesta etapa são carregadas e fundidas nos fornos, as cargas preparadas previamente. São utilizados diferentes tipos de fornos de fusão e tratamento de metais conforme a tipologia da peça a produzir. Tipicamente, nas fundições de metais ferrosos, são utilizados fornos elétricos de indução. Na fundição de metais não ferrosos são maioritariamente usados fornos de soleira a gás.

O metal pode requerer tratamento como a dessulfuração, refinação e desoxidação. Para remover impurezas do metal fundido, pode ser adicionado fluxo ao metal fundido para combinação com as impurezas de modo a formar uma escória que será removida antes do vazamento.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Fabrico de machos e moldação

No processo de moldação são executas as operações que permitem a construção dos moldes e machos em areia (para obtenção dos orifícios na peça acabada). Existem basicamente dois tipos de moldação:

- Moldação não-permanente (uso único): é geralmente feita em areia e perde-se no processo de desmoldação. É usada principalmente na fundição de metais ferrosos.
- Moldação permanente (multiuso): o molde é normalmente metálico e não é destruído após cada vazamento. É usada principalmente para produção de ligas não-ferrosas. É usada para vazamento por gravidade e injeção a baixa/alta pressão e por centrifugação.

Na moldação em areia, os grãos de areia são misturados com bentonite, pó de carvão e água (areia verde) ou um ligante químico (areia auto-secativa). Os diferentes tipos de moldação têm impacto sobre a quantidade e a classificação dos resíduos gerados, potenciais emissões ambientais e capacidade de recuperação da areia usada.

Os machos são tipicamente obtidos introduzindo uma mistura de areia de sílica e ligantes químicos. A maioria da areia usada na moldação em areia verde é reutilizada na produção de novas moldações. No entanto, o desgaste da areia requer a entrada de areia nova no processo ao longo do tempo.

A moldação e a macharia constituem importantes fontes de geração de resíduos (subprodutos) na indústria de fundição. A utilização de ligantes na produção da moldação e da macharia, para garantir a aglutinação da areia, dá origem a produtos de reação e decomposição, que incluem componentes inorgânicos e orgânicos (aminas e COV's).

Os moldes permanentes, por seu turno, são feitos de metal, não sendo destruídos após o processo de moldação.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Vazamento, injeção e desmoldação

No processo de vazamento procede-se ao enchimento das cavidades moldantes com o metal líquido, de modo manual ou automático. Normalmente o metal é vazado a partir dos fornos de fusão ou dos fornos de manutenção para colheres suspensas que posteriormente vertem o banho metálico para cada moldação através da respetiva bacia de vazamento.

No processo de injeção o banho metálico é alimentado diretamente de um forno de manutenção. Este é depois introduzido sob pressão no molde metálico onde é deixado arrefecer

Após o período de arrefecimento a moldação pode ser aberta e a peça removida. No caso da moldação não-permanente em areia, esta pode ser reutilizada. A areia utilizada na moldação e macharia é normalmente tratada termicamente para retirar ligantes e impurezas orgânicas antes da sua reciclagem.

Acabamento

O acabamento compreende diversas operações, por exemplo, a remoção de restos de areias da superfície da peça metálica, também designado por granalhagem, corte de gitos e alimentadores, rebarbagem, lixamento, polimento e cinzelamento.

As peças podem também sofrer ainda um conjunto de operações de valor acrescentado como maquinagem, aplicação de revestimentos na superfície das peças e até mesmo tratamento térmico com a finalidade de melhorar as características das peças.

No final, são efetuadas inspeções e testes de natureza diversa para que seja garantida a qualidade requerida.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

De forma sumária a tabela seguinte apresenta as principais emissões e resíduos associados a cada processo de fundição.

	Macharia e Moldação	Fusão, Vazamento e Arrefecimento	Desmoldação e acabamento
Emissões	Poeiras • Emissões atmosféricas: • Material particulado (PM), • Óxidos de enxofre (SOx), • Gases de efeito de estufa (GEE), • Componentes orgânicos voláteis (COV) • Aminas	Poeiras Emissões atmosféricas: • Metais gasosos, • Material particulado (PM), • GEE: como CO2, CO, SOx, NOx, H2S, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP), COV, HCl, • Metais pesados, • Chumbo, • Dioxinas e furanos, • Componentes orgânicos	Poeiras, Emissões atmosféricas (PM, COV,
Residuos	Areias Fragmentos de machos e machos queimados Poeiras e lamas de instalações de aspiração e despoeiramento e de pinturas Óleos e lubrificantes Resíduos de ligantes e de aditivos	Escória Resíduos metálicos Refratários Óleos e lubrificantes Resíduos de aditivos	Areia usada (moldes e machos) Aparas, limalhas e poeiras Granalha Abrasivos Poeiras e lamas de instalações de aspiração e despoeiramento Óleos e lubrificantes

Tabela 3.2 - Emissões dos processos do setor da fundição

As médias e grandes empresas de fundição, já se encontram equipadas com o melhor e mais moderno sistema produtivo disponível, até porque a concorrência do mercado global se faz mais pelo lado da garantia da qualidade do produto fundido e dos prazos de entrega, do que com base no custo baixo. Os concorrentes das empresas de fundição são fundamentalmente outras fundições localizadas nos diversos países da União Europeia, muito mais preparados para a disponibilização de grandes séries.

Atualmente, o setor da fundição nacional já se encontra ao nível dos parceiros europeus no que diz respeito ao nível tecnológico, controlo de qualidade e ambiental. Na tabela 3.3 encontram-se apresentadas algumas das melhores tecnologias for setor de produção e grupo material.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Sistema	Setor Ferrosos	Setor não ferrosos
Projeto	Sistemas de modelação 3D e simulação do enchimento das cavidades moldantes e da solidificação dos banhos	
Preparação de cargas	Sistemas automáticos de cálculo de cargas, sistemas de manipulação e carregamento automático de fornos	
Fusão	Fornos de indução, média frequência, fornos de arco, com captação e tratamento de fumos e efluentes	Fornos de soleira inclinada e fornos de cadinho elétricos, com captação e tratamento de fumos e efluentes
Controlo qualidade dos banhos	Medição e controlo de taxa de aquecimento e temperatura, controlo da composição química dos banhos e análise térmica	Medição e controlo de taxa de aquecimento e temperatura, controlo da composição química dos banhos e análise de teor de gases do banho
Vazamento	Colheres isoladas	Colheres de “transfer” e fornos doseadores
Moldação	Manual, em areia com ligante químico, e moldação com sistema de areia verde automáticos, quando aplicável	
Fabrico de machos	Sistemas manuais e automáticos	Sistemas manuais e automáticos, quando aplicável
Injeção	Não aplicável	Células de injeção automatizadas, em fundição injetada, máquinas de baixa pressão em coquilha
Pré acabamento	Rebarbagem manual e automática, rebolos, células de acabamento	
Controlo metalúrgico	Microscopia, laboratórios de controlo químico e metalográfico, controlo de propriedades mecânicas	
Controlo dimensional	Mesas e braços de controlo dimensional	

Tabela 3.3 - Tecnologias por fase fabril e grupo de material [7]

Perante a dimensão do impacto energético, e da ampla variação de processos no setor da fundição, torna-se evidente a importância do conhecimento, por parte das empresas de fundição, do seu próprio processo produtivo.

Existem diversos estudos que demonstram que, no processo de fundição em areia, a poupança de energia pode ser alcançada de forma direta, através da redução do consumo de combustível e de forma indireta através da redução do consumo de matéria-prima. A poupança direta ocorre nos processos de fusão do metal e de manutenção de temperatura, responsáveis por cerca de 50% da energia total envolvida no processo de fundição e a poupança indireta acontece nos processos de maquinação e de remoção do material excedente.

É fundamental que se adotem políticas de monitorização, extensível a todas as etapas, processos e equipamento, com vista à máxima eficiência energética produzindo como consequência uma redução nos consumos, custos e emissões das empresas do setor.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

4. MELHORES TÉCNICAS DISPONIVEIS (MTD)

À medida que a tecnologia continua a melhorar, foram sendo desenvolvidos diversos equipamentos para desenvolver peças fundidas com maior eficiência, reduzindo o desperdício e as perdas de energia. Não existem critérios únicos que possam ser utilizados para caracterizar o fluxo energético que é utilizado pelo setor da fundição devido à grande amplitude de produtos e processos associados ao setor.

Sem dúvida, a gestão adequada da energia é muito importante, pois envolve o desenvolvimento e implementação de sistemas e vários métodos para produzir peças fundidas com eficiência, de modo a reduzir a quantidade de energia necessária. Uma auditoria energética é um método válido usado para realizar uma revisão sistemática sobre os consumos de energia sendo o estudo sobre o padrão de consumos uma parte importante deste processo. O estudo dos padrões energéticos permite compreender as diversas formas de utilização da energia na fundição destacando áreas de desperdício de energia e fornecendo sugestões para controlar os custos energéticos implementando soluções para determinadas áreas destacadas.

Neste sentido, a Comissão Europeia criou o *European Integrated Pollution and Control Bureau*, o qual elabora documentos de referência (BREF) sobre as Melhores técnicas Disponíveis, MTD, aplicáveis a cada um dos setores da indústria e que se destinam a fornecer informações para orientar os diferentes setores sobre os níveis alcançáveis de emissão e consumo quando são utilizadas técnicas especificas.

As MTD, por definição, correspondem "*à fase de desenvolvimento mais avançada e eficaz das atividades e dos respetivos modos de exploração, que demonstre a aptidão prática de técnicas disponíveis para constituir, em princípio, a base dos valores limite de emissão com vista a evitar e, quando tal não seja possível, a reduzir de um modo geral as emissões e o impacto no ambiente e no seu todo* ". [8]

Algumas MTD são genéricas e aplicam-se a todas as fundições, independentemente dos processos que aplicam e do tipo de produtos que produzem. A fim de aumentar a eficiência energética global das instalações do setor da fundição deverão ser aplicadas um conjunto de técnicas que podem ser observadas de duas perspetivas distintas, eficiência energética e eficiência dos materiais.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

4.1. Técnicas para aumentar a eficiência energética

Técnica	Descrição
Prática de escória espumosa	Injeção simultânea de oxigénio e carbono (na forma de pó de carvão) na escória no final do ciclo de fusão em fornos elétricos de arco. Esta injeção gera bolhas de CO, formando uma camada de escória espumosa que isola o metal e protege o revestimento refratário do forno.
Automação e controlo de fornos	O processo de aquecimento é otimizado usando um sistema computacional que controla em tempo real os principais parâmetros, como a temperatura do forno e da matéria-prima, o rácio de ar para o combustível e a pressão do forno.
Melhorar o rendimento da fundição e diminuir a produção de sucata	São tomadas medidas para maximizar a eficiência do processo de fusão e diminuir a formação de sucata, por exemplo: • otimizar as operações de fusão e vazamento para reduzir, por exemplo, perdas por fusão, *pigging* excessivo, taxas de produção de sucata; • otimizar a moldação e a fabricação de machos para reduzir a produção de refugos resultantes de deficiências em moldes e machos; • otimização dos sistemas de alimentação; • usando alimentadores exotérmicos isolados; • introdução de tecnologia de fundição mais eficiente (por exemplo, usando simulação assistida por computador) para reduzir o número de fundições defeituosas geradas.
Combustão oxi-combustível	O ar de combustão é substituído total ou parcialmente por oxigénio puro. A combustão oxi-combustível pode ser usada em combinação com a combustão sem chama.
Enriquecimento do ar de combustão com oxigénio	O enriquecimento do ar de combustão com oxigénio pode ser realizado no momento da explosão, através da injeção de oxigénio no leito de coque ou de filas de *tuyères*.
Pós-combustão de gases de exaustão	Pós-combustão de CO e outros compostos orgânicos contidos nos gases de exaustão do forno é usado para reduzir as emissões e para a recuperação de calor. O calor gerado é recuperado com um permutador de calor e usado para pré-aquecimento de ar de explosão ou outros propósitos internos. Nos fornos HBC, a pós-combustão ocorre ocorre numa câmara separada de pós-combustão pré-aquecida com queimador de gás natural. Nos fornos CBC, a pós-combustão ocorre diretamente no eixo da cúpula. Em fornos rotativos, a pós-combustão é realizado usando um pós-combustor instalado entre o forno e antes do permutador de calor.
Pré-aquecimento do ar de combustão	Reaproveitamento de parte do calor recuperado dos gases de combustão para pré-aquecimento do ar utilizado na combustão. Isso pode ser alcançado, por exemplo, usando queimadores regenerativos ou recuperativos (ver abaixo). Um equilíbrio é alcançado quando, se maximiza a recuperação de calor do gás de combustão e simultaneamente, se minimizam das emissões de NOx.
Queimador de recuperação	Os queimadores de recuperação empregam diferentes tipos de recuperadores para readquirir diretamente o calor dos gases de combustão, que são depois usados para pré-aquecer o ar de combustão.
Queimador regenerativo	Os queimadores regenerativos consistem em dois queimadores que são operados alternadamente e que contêm leitos de materiais refratários ou cerâmicos. Enquanto um queimador está em operação, o calor do gás de combustão é absorvido pelo refratário ou cerâmica materiais do outro queimador e, em seguida, usado para pré-aquecer o ar de combustão.
Seleção de um tipo de forno energeticamente eficiente	A eficiência energética do forno é tida em consideração na seleção do forno, por exemplo, fornos que permitem o pré-aquecimento e a secagem da carga de entrada antes da zona de fusão.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Técnicas para maximizar a eficiência térmica dos fornos	Medidas tomadas para maximizar a eficiência da conversão de energia no forno, minimizando as emissões (em particular de partículas e CO). Isso é alcançado usando automação e controlo do forno (ver acima) e aplicando uma série de medidas de otimização do processo de acordo com o tipo de forno. As medidas incluem o seguinte: Para fornos de cúpula: • otimização do regime operacional; • evitar excesso de temperatura; • carregamento uniforme; • minimização das perdas de ar; • boas práticas de revestimento. Para fornos de indução: • condições da matéria-prima (por exemplo, tamanho e densidade ideais para materiais de entrada e sucata); • fecho da tampa do forno; • tempo mínimo de retenção; • manter pé de banho no forno para reduzir a duração do ciclo de fusão; • adição de carburadores no início do ciclo de fusão; • operação no nível máximo de entrada de potência; • controlo de temperatura para evitar superaquecimento; • prevenção de acumulação excessiva de escória otimizando as temperaturas de fusão; • minimização e controlo do desgaste do revestimento refratário do forno. Para fornos rotativos: • uso de antracito e silício para proteção do fundido; • ajuste da velocidade de rotação contínua ou descontínua do forno para obter a máxima transferência de calor; • ajuste da potência e ângulo do queimador para obter a máxima transferência de calor. Para fornos elétricos a arco: • tempos de fusão e/ou tratamento do metal mais curtos usando métodos de controlo avançados, por exemplo, para a composição e o peso dos materiais carregados, a temperatura do fundido, bem como por métodos eficientes de amostragem e remoção de escória. Para fornos de cuba: • controlo independente da relação combustível/ar para cada queimador a gás; • monotorização contínua de CO ou hidrogênio para cada fileira de queimadores; • adição de oxigénio acima da zona de fusão para proporcionar pós-combustão no nível superior da cuba; • pré-aquecimento da carga usando calor residual recuperado dos gases de combustão. Para fornos reverbatórios: • pré-aquecimento da carga no caso de fornos de fornalha seca ou de reverberação de poço lateral; • uso de queimadores com controlo automático de temperatura. Para fornos de cadinho: • pré-aquecimento do cadinho antes do carregamento; • uso de cadinhos com alta condutividade térmica e resistência ao choque térmico (por exemplo, grafite); • limpeza das paredes do cadinho imediatamente após o esvaziamento para remover escórias ou impurezas.
Uso de sucata limpa	A fusão de sucata limpa evita o risco de compostos não metálicos serem absorvidos pela escória e/ou degradar os revestimentos refratários do forno ou da panela.

Tabela 4.1.1 – Descritivo de técnicas para aumentar a eficiência energética

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

4.2. Técnicas para aumentar a eficiência do material

Técnica	Descrição
Ajuste da acidez / basicidade da escória	O uso de um fluxo apropriado (por exemplo, calcário para ácido e fluoreto de cálcio para operações básicas de cúpula) para tornar a escória fluida o suficiente para se separar do ferro.
Melhorar o rendimento da fundição e diminuir a produção de sucata	São tomadas medidas para maximizar a eficiência do processo de fusão e diminuir a formação de sucata, por exemplo: • otimizar as operações de fusão e vazamento para reduzir, por exemplo, perdas por fusão, *pigging* excessivo, taxas de produção de sucata; • otimizar a moldação e a fabricação de machos para reduzir a produção de refugos resultantes de deficiências em moldes e machos; • otimização dos sistemas de alimentação; • usando alimentadores exotérmicos isolados; • introdução de tecnologia de fundição mais eficiente (por exemplo, usando simulação assistida por computador) para reduzir o número de fundições defeituosas geradas.
Pré-tratamento mecânico de escória / impurezas / pó de filtro / revestimentos refratários gastos para facilitar a reciclagem	A escória gerada / impurezas / pó de filtro / revestimentos refratários gastos são pré-tratados no local, usando técnicas como britagem, segregação, granulação, separação magnética.
Minimização do consumo de ligante e resina	As medidas para minimizar o consumo de ligante e resina incluem: • uso de areia de qualidade compatível com o sistema ligante; • boa gestão armazenamento e testagem da areia (pureza, granulometria, forma, humidade); • controlo de temperatura; • manutenção e limpeza do misturador; • verificação da qualidade do molde (para prevenir e, se necessário, reparar defeitos de moldação); • otimização da adição de ligante; • otimização da operação do misturador.
Pulverização separada de agente desmoldante e água em fundição de alta pressão	Água e agentes desmoldantes são aplicados separadamente no molde usando uma fileira adicional de bicos montados na cabeça de pulverização. A água é pulverizada primeiro, levando a um arrefecimento significativo do molde antes da aplicação do agente desmoldante, o que resulta numa redução de emissões e consumo de agentes desmoldantes e água.
Uso das melhores práticas para processos de cura a frio	As práticas incluem o seguinte (de acordo com o sistema de ligação utilizado): • Controlo de temperatura: a temperatura da areia é mantida o mais constante possível e baixa o suficiente para evitar emissões causadas pela evaporação. Para sistemas catalisados por ácido fenólico e furânico, poliuretano e silicato de éster, o intervalo de temperatura ideal é entre 15 ºC e 25 ºC. Para sistemas resol-éster, o intervalo de temperatura ideal está entre 15 ºC e 35 ºC; • para sistemas catalisados por ácido furânico: - o teor de álcool furfurílico livre (monômero) na resina é minimizado (por exemplo, menos de 25% em peso); e - o teor de enxofre do catalisador ácido é reduzido substituindo uma parte do ácido sulfônico por um ácido orgânico forte sem enxofre.
Uso das melhores práticas para processos de cura a gás	As práticas incluem o seguinte (de acordo com o processo de cura utilizado): <u>Para resinas fenólicas de uretano (processo cold-box)</u>: • o consumo de aminas é minimizado pela otimização do processo de difusão dentro do macho, normalmente por meio de simulação digital para otimização do fluxo de gás;

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

	• a temperatura da areia é mantida o mais constante possível, entre 20 ºC e 25 ºC, para minimizar o tempo de gaseificação e o consumo de amina; • a humidade da areia é mantida abaixo de 0,1% e o ar de gaseificação e purga é seco; • as caixas de machos são bem vedadas para permitir que o gás do catalisador de amina seja extraído e os machos são completamente purgados para evitar a liberação de aminas durante o armazenamento dos mesmos. Para resinas resol-éster: • a temperatura da areia é mantida o mais constante possível, entre 15 ºC e 30 ºC; • a cura da resina fenólica alcalina é conseguida com formato de metila que é gaseificado por ar normalmente aquecido a 80 ºC; • as caixas de machos e as cabeças de gaseificação são vedadas corretamente e a ventilação da caixa de macho projetada para fornecer uma leve contrapressão para que o vapor de cura seja mantido por tempo suficiente para que a reação ocorra. Para resinas endurecidas por CO2 (por exemplo, fenólico alcalino, silicato): • o volume exato de gás CO2 necessário para a cura das resinas é utilizado empregando um controlador de fluxo e um temporizador para obter a melhor resistência e tempo de armazenamento; • para resinas de silicato, agentes de degradação líquidos são empregados (por exemplo, carboidratos solúveis) para aumentar a velocidade de gaseificação. Para resinas endurecidas com SO2 (por exemplo, fenólicas, epóxi/acrílicas): • o período de gaseificação é seguido por purga com o mesmo gás inerte (por exemplo, azoto) usado para a cura para remover o excesso de dióxido sulfúrico não reagido da areia; • as caixas de machos são bem vedadas e os machos são completamente purgados para evitar a liberação de gás durante o armazenamento dos machos.
Uso de sucata limpa	A fusão de sucata limpa evita o risco de compostos não metálicos serem absorvidos pela escória e/ou degradar os revestimentos refratários do forno ou da panela.

Tabela 4.2.1 – Descritivo de técnicas para aumentar a eficiência do material

4.3. Conclusões gerais de MTD para fundições

Genericamente, e aplicável a todo o tipo de fundições uma das MTD a implementar consiste na monitorização regular de diferentes indicadores:

- Consumos de água, energia e materiais utilizados, incluindo produtos químicos de processo;
- Geração de águas residuais;
- Quantidades de cada tipo de material recuperado e/ou reutilizado;
- Quantidades de cada tipo de resíduos gerado e de cada tipo de resíduo encaminhado para tratamento.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Esta monitorização inclui medições diretas. Cálculos ou registos, por exemplo usando equipamentos específicos de medição. A monitorização é dividida ao nível mais apropriado, sendo ao nível do processo produtivo ou da instalação, e considera quaisquer mudanças significativas.

Uma forma a aumentar a eficiência energética, consiste em aplicar um conjunto de técnicas indicadas na tabela seguinte de (A) a (D) e uma combinação de técnicas, (E) a (M).

Técnica		**Descrição**	**Aplicabilidade**
Projeto e operação			
A	Seleção de energia-tipo de forno eficiente	Consultar tabela 4.1.1	Aplicável apenas a novas instalações e/ou grandes atualizações de instalações
B	Técnicas para maximizar a eficiência térmica dos fornos	Consultar tabela 4.1.1	Geralmente aplicável.
C	Automação e controlo de fornos	Consultar tabela 4.1.1	Geralmente aplicável.
D	Uso de sucata limpa	Consultar tabela 4.1.1	Geralmente aplicável.
E	Melhorar o rendimento da fundição e diminuir a geração de sucata	Consultar tabela 4.1.1	Geralmente aplicável.
F	Reduzindo as perdas de energia/ melhorando as práticas de pré-aquecimento da colher de vazamento	Isso inclui todos os seguintes elementos: • uso de colheres de vazamento limpas e pré-aquecidas; • manter a tampa fechada na colher de vazamento para preservar o calor; • uso de técnicas energeticamente eficientes para pré-aquecimento da colher de vazamento (por exemplo, queimadores microporosos sem chama ou queimadores de oxi-combustível); • uso de colheres de vazamento grandes (na medida do possível) equipadas com tampas de retenção de calor; • minimizar a transferência de metal fundido de uma colher de vazamento para outra; • transferencia do metal fundido o mais rápido possível	Geralmente aplicável.
G	Combustão oxi-combustível	Consultar tabela 4.1.1	A aplicabilidade às instalações existentes pode ser restringida pelo projeto do forno e pela necessidade de um fluxo mínimo de gases residuais.
H	Uso de potência de média frequência em fornos de indução	Uso de fornos de indução de média frequência (250 Hz) em vez de fornos de frequência de rede (50 Hz).	Geralmente aplicável.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

I	Otimização do sistema de ar comprimido	Isso inclui todas as seguintes medidas: • aplicar uma manutenção adequada do sistema para reduzir fugas; • monitorização eficiente de parâmetros operacionais como fluxo, temperatura e pressão; • minimizar as quedas de pressão; • aplicação de gestão de carga eficiente; • redução da temperatura do ar de entrada; • uso de sistema de controlo eficiente do compressor.	Geralmente aplicável.
J	Secagem por micro-ondas de machos para revestimentos à base de água	Utilização de fornos de secagem por micro-ondas (por exemplo, com uma frequência de 2 450 Hz) para secagem de machos revestidos com revestimentos à base de água (ver BAT 21 (f)), resultando em secagem rápida e homogenia de toda a superfície do macho.	Geralmente aplicável.
Técnicas de recuperação de calor			
K	Pré-aquecimento de sucata	A sucata é pré-aquecida soprando gases de combustão quentes diretamente sobre ela.	Geralmente aplicável.
L	Recuperação de calor de gases gerados em fornos	O calor residual dos gases quentes é recuperado (por exemplo, através de permutadores de calor) e reutilizado no local ou fora do local (por exemplo, em circuitos de óleo térmico/água quente/aquecimento, para produção de vapor ou para pré-aquecimento do ar de combustão (ver técnica (n)) . Isto pode incluir o seguinte: • O excesso de calor dos gases de escape quentes da cúpula é usado, por exemplo, para produção de vapor, aquecimento de óleo térmico, aquecimento de água. • O excesso de calor do sistema de arrefecimento do forno é usado, por exemplo, para secagem de matéria-prima, aquecimento ambiente, aquecimento de água. • Em fornos a combustível em fundições de alumínio, o excesso de calor é usado, por exemplo, para aquecer as instalações e/ou a água para a instalação de limpeza de fundição. • Calor de baixo grau é convertido em eletricidade usando fluidos de alto peso molecular usando o Ciclo Rankine Orgânico (ORC).	Geralmente aplicável.
M	Pré-aquecimento do ar de combustão	Consultar tabela 4.1.1	Geralmente aplicável.

Tabela 4.3.1 - Técnicas para aumento de eficiência energética

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Também é possível aumentar a eficiência do setor pela otimização na fusão dos metais podendo ser aplicada uma combinação adequada de algumas técnicas que se indicam na tabela seguinte.

Técnica		Descrição	Aplicabilidade
A	Aumento de altura do eixo em fornos CBC	Aumento da altura do poço em alto-fornos de cúpula a jato frio permite que os gases de combustão permaneçam em contacto com a carga por mais tempo, resultando em uma maior transferência de calor.	Geralmente aplicável.
B	Enriquecimento de oxigénio de o ar de combustão	Consultar tabela 4.1.1	Geralmente aplicável.
C	Superaquecimento do jato de ar HBC	Aumento da temperatura da chama por superaquecimento do jato de ar para 800-900 °C por injeção de plasma de ar ou usando aquecedores de resistência.	Geralmente aplicável.
D	Períodos mínimos de desligamento por explosão para fornos HBC	Minimização dos períodos de desligamento por explosão programando os cronogramas dos processos de moldação e fundição para garantir uma procura razoavelmente constante por metal.	Geralmente aplicável.
E	Cúpula de longa campanha	O forno de cúpula é configurado para produções com períodos de tempo alargado para minimizar a manutenção e as mudanças de processo. Isto pode ser obtido com o uso de revestimentos refratários do forno mais resistentes e também com arrefecimento a água das paredes do forno.	Pode não ser aplicável nos casos em que a taxa de produção de metal fundido for inferior a 10 t/h.
F	Pós-combustão de gases de escape	Consultar tabela 4.1.1	Geralmente aplicável.
G	Prática de escória espumosa	Consultar tabela 4.1.1	Geralmente aplicável.
H	Circulação de metal fundido em fornos reverberatórios.	Uma bomba é instalada em fornos reverberatórios para forçar a circulação de metal fundido e minimizar o gradiente de temperatura em todo o banho fundido (de cima para baixo)	Geralmente aplicável.
I	Minimização de energia perdas por radiação em fornos de cadinho	Fornos de cadinho são cobertos com uma tampa e/ou equipados com revestimentos radiantes de painéis para minimizar as perdas de energia por radiação.	Geralmente aplicável.

Tabela 4.3.2 - Técnicas de otimização da fusão dos metais

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

5. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO AO SETOR DA FUNDIÇÃO

Foram recolhidos dados específicos com vista a caracterização energética dos quais destacamos:

- Consumos de energia (eletricidade, gás natural, gás propano, gasóleo, outros);
- Infraestruturas (planta de localização);
- Dados de produção;
- Fluxogramas de processo
- Características dos equipamentos;

Da informação recolhida, foi efetuada uma primeira análise às três entidades representativas do setor. No seguinte gráfico encontram-se representados os consumos médios anuais por fonte de energia das empresas.

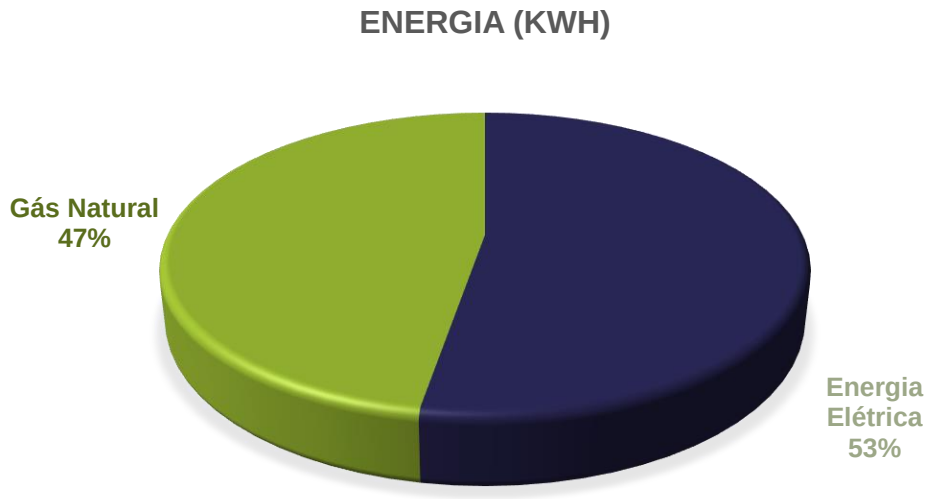

Figura 5.1 -Consumo médio por fonte de energia (kWh) para o ano de referência 2021

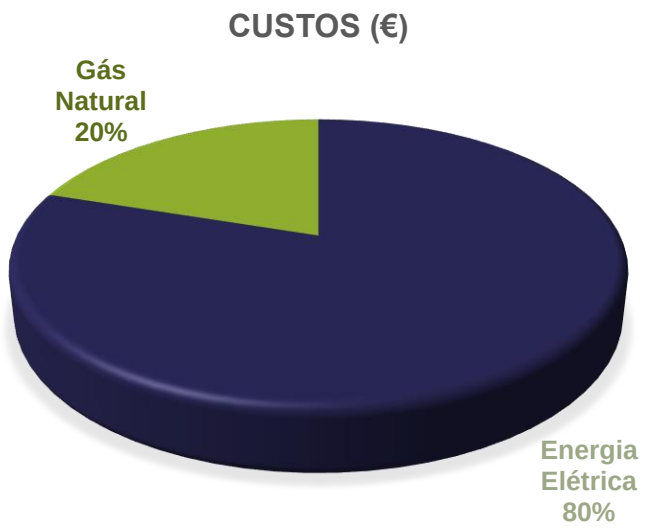

Figura 5.2 - Custos médios por fonte de energia (€) para o ano de referência 2021

No entanto, esta análise preliminar demostra-se demasiado simplista, pois no setor da fundição, a tipologia de consumos varia consideravelmente com o tipo de fundição em estudo.

Na amostra destas três entidades, a através da análise preliminar, existe necessidade de abordar de forma separada dois os tipos de fundição, ferrosos e não ferrosos, uma vez que o perfil de consumos varia significativamente.

Para a empresa A, fundição de metais ferrosos, observa-se a seguinte desagregação de consumos:

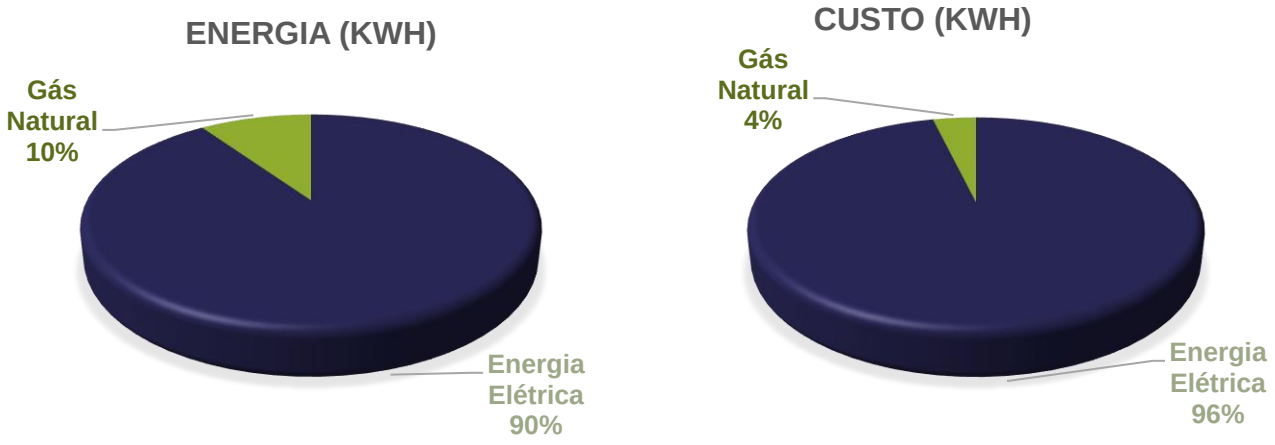

Figura 5.3 - Desagregação de consumos pelas formas de energia empresa A

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Verifica-se que a forma de energia mais intensiva é a energia elétrica que representou 90% do consumo de energia e 96 % dos custos anuais com a energia no decorrer do ano 2021.

Para as empresas B e C, fundições de metais não ferrosos, nomeadamente ligas de alumínio, obtemos a seguinte desagregação:

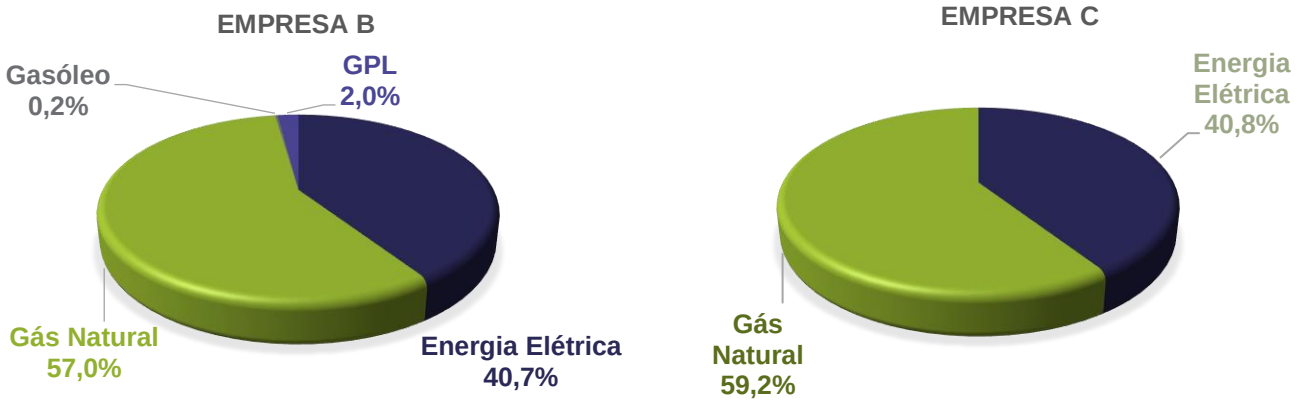

Figura 5.4 - Desagregação do consumo pelas formas de energia utilizadas na instalação em kWh

Para estas duas empresas de fundição de metais não ferrosos, verifica-se que a tipologia de consumos é aproximada, sendo neste caso o gás natural a forma de energia mais intensiva com uma média de 58% dos consumos totais seguida da energia elétrica com uma média de 40,8% dos consumos energéticos.

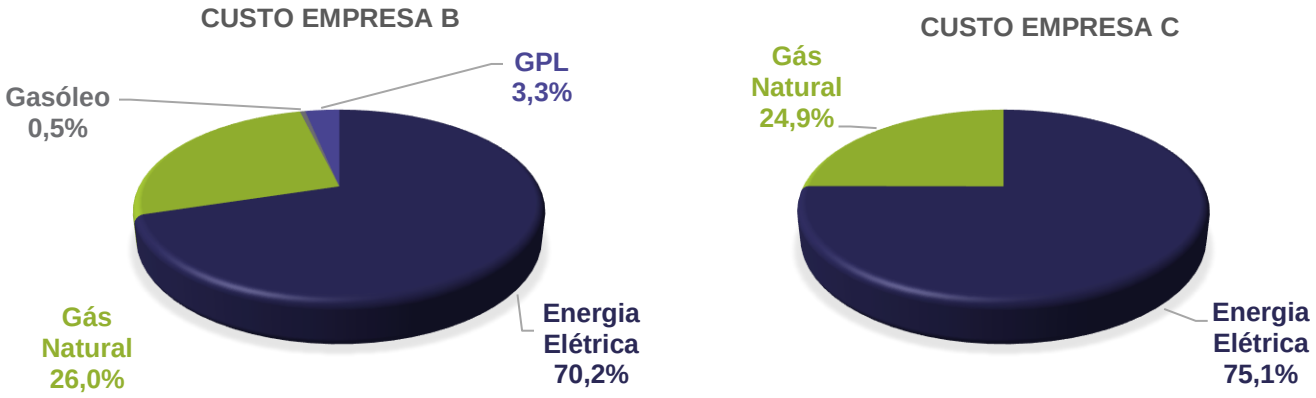

Figura 5.5 - Desagregação dos custos pelas formas de energia utilizadas em €

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Relativamente à distribuição dos custos de energia verifica-se uma situação inversa. A energia elétrica representa em média 73% dos custos anuais de energia, enquanto este valor para o gás natural é, em média, de 25%.

O consumo de GPL bem como Gasóleo, representam uma fração inferior a 4% dos custos sendo que estes são associados ao uso de empilhadores

5.1. Caso de Estudo fundição metais ferrosos

O processo de fusão de metais ferrosos é a parte mais consumidora da fundição, a energia necessária é dividida em: o calor sensível para atingir a temperatura de fusão, o calor latente para realizar a mudança de fase e, finalmente, o calor sensível para transportar o banho do metal fundido na temperatura de fundição.

As formas de energia consumidas na instalação objeto de estudo são a Energia Elétrica e o Gás Natural. Apresenta-se no quadro seguinte as quantidades consumidas no período de referência (ano de 2021) para as diferentes formas de energia, com conversões para Energia Primária (tep) e Energia Final (GJ) bem como o custo e emissões de CO_2 associadas.

Forma de Energia	Quantidade	tep	GJ	€	tCO_2
Energia Elétrica (kWh)	7.924.815	1.703,8	28.529,3	723.372	3.724,6
Gás natural (m3)	79.899,0	72,3	3.028,3	28.005	194,1
Total	--	**1 776,2**	**31 558**	**751 377**	**3 919**

Tabela 5.1.1 - Resumo das formas de energia consumidas pela entidade A

Na figura que se segue apresenta-se o resumo da distribuição dos consumos pelas diferentes formas de energia, observando-se que o consumo de Energia Elétrica é severamente preponderante correspondendo a cerca de 95% dos consumos totais.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

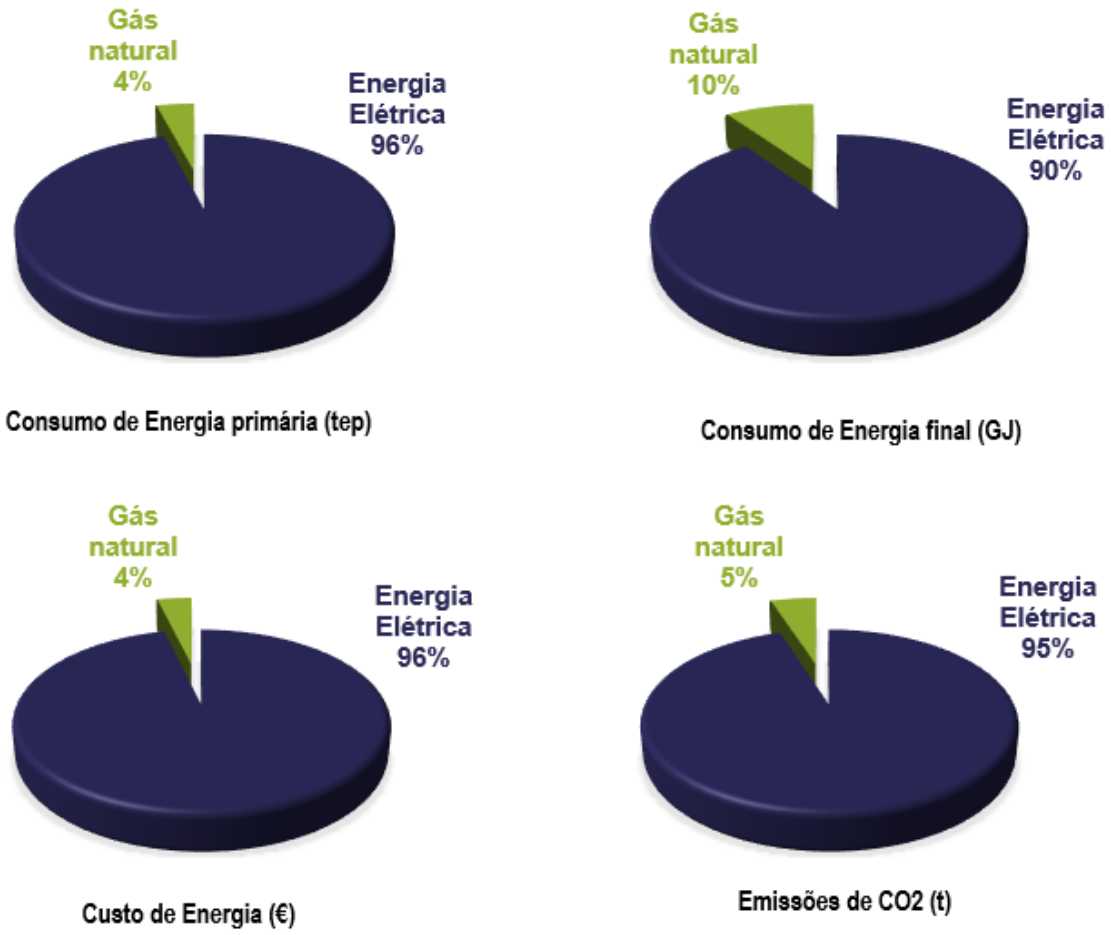

Figura 5.1.1 - Resumo geral das diferentes Formas de energia consumidas pela entidade A

Consumo de Energia Elétrica

O abastecimento elétrico à instalação A é feito em média tensão sendo o tarifário adotado o ciclo semanal com feriados (tetra-horário).

No quadro seguinte apresenta-se os consumos mensais de Energia Elétrica (kWh, tep e GJ), bem como os custos e emissões associadas.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Mês	Consumo			Custo	Emissões
	(kWh)	(tep)	(GJ)	(€)	(tCO_2)
Janeiro	688.236	148,0	2.477,6	57.990	323,5
Fevereiro	673.621	144,8	2.425,0	56.332	316,6
Março	806.094	173,3	2.901,9	68.399	378,9
Abril	708.334	152,3	2.550,0	67.407	332,9
Maio	779.687	167,6	2.806,9	74.837	366,4
Junho	452.636	97,3	1.629,5	45.526	212,7
Julho	801.319	172,3	2.884,7	75.051	376,6
Agosto	394.281	84,8	1.419,4	39.022	185,3
Setembro	753.309	162,0	2.711,9	70.564	354,0
Outubro	754.289	162,2	2.715,4	72.620	354,5
Novembro	675.724	145,3	2.432,6	57.363	317,6
Dezembro	437.285	94,0	1.574,2	38.261	205,5
Total	**7.924.815**	**1.703,8**	**28.529,3**	**723.372**	**3.724,6**
Média	**660.401**	**142,0**	**2.377,4**	**60.281**	**310,4**

Tabela 5.1.2 - Consumo de Energia Elétrica no período de referência da entidade A

No que diz respeito aos consumos dos diferentes períodos horários verifica-se que nas Horas Cheias (HC) é consumida cerca de 50% da Energia Elétrica total, sendo este o período com mais consumo conforme se pode verificar através da análise da tabela seguinte.

Mês	HVN (kWh)	HSV (kWh)	HP (kWh)	HC (kWh)	Total (kWh)
Janeiro	138.305,0	149.477,0	34.442,0	366.012,0	688.236,0
Fevereiro	139.230,0	142.792,0	30.077,0	361.522,0	673.621,0
Março	154.400,0	169.252,0	48.112,0	434.330,0	806.094,0
Abril	126.080,0	146.277,0	94.775,0	341.202,0	708.334,0
Maio	137.005,0	158.605,0	108.507,0	375.570,0	779.687,0
Junho	79.810,0	87.737,0	67.262,0	217.827,0	452.636,0
Julho	152.682,0	168.297,0	104.265,0	376.075,0	801.319,0
Agosto	71.052,0	81.297,0	51.947,0	189.985,0	394.281,0
Setembro	133.057,0	160.390,0	99.205,0	360.657,0	753.309,0
Outubro	142.545,0	155.175,0	104.232,0	352.337,0	754.289,0
Novembro	135.002,0	141.785,0	36.725,0	362.212,0	675.724,0
Dezembro	96.255,0	88.815,0	22.455,0	229.760,0	437.285,0
Total	**1.505.423,0**	**1.649.899,0**	**802.004,0**	**3.967.489,0**	**7.924.815,0**
%	**19,0%**	**20,8%**	**10,1%**	**50,1%**	**100,0%**

Tabela 5.1.3 - Consumo de Energia Elétrica por período tarifário da entidade A

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Pode visualizar-se de forma gráfica a desagregação do consumo de Energia Elétrica por período tarifário na seguinte figura.

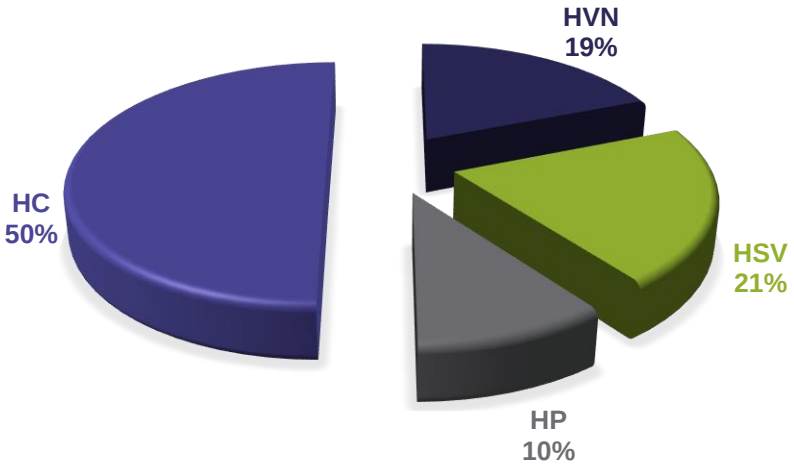

Figura 5.1.2 - Desagregação dos consumos de Energia Elétrica por período tarifário da entidade A

Consumo de Gás Natural

No que diz respeito aos consumos de gás natural foram observados os seguintes consumos mensais em kWh, tep e GJ, assim como os custos mensais e correspondentes emissões de CO2.

Mês	Consumo			Custo	Emissões
	kWh	tep	GJ	Custo (€)	tCO2
Jan-21	68.076	6	245	2.289 €	16
Fev-21	68.139	6	245	2.288 €	16
Mar-21	106.831	9	385	3.554 €	25
Abr-21	71.656	6	258	2.425 €	17
Mai-21	77.152	7	278	2.537 €	18
Jun-21	48.451	4	174	1.680 €	11
Jul-21	77.173	7	278	2.592 €	18
Ago-21	50.705	4	183	1.619 €	12
Set-21	82.332	7	296	2.715 €	19
Out-21	80.531	7	290	2.664 €	19
Nov-21	77.489	7	279	2.556 €	18
Dez-21	32.669	3	118	1.087 €	8
Total	**841.204**	**72**	**3 028**	**28.005 €**	**194**
Média	**70.100**	**6**	**252**	**2.334 €**	**16**

Tabela 5.1.4 - Variação mensal do consumo de Gás natural no período de referência da entidade A

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Consumidores de energia

Foram identificados os principais consumidores de energia da instalação e foi quantificada a distribuição de consumos pelos diferentes setores/equipamentos encontrando-se resumidos no seguinte quadro:

Sector/Equipamento	Energia Elétrica		Gás natural		Total	
	kWh	%	kWh	%	kWh	%
Total	**7.924.815**	**100%**	**841.204**	**100%**	**8.766.019**	**100%**
Processo Industrial	5.962.734	75%	841.204	100%	6.803.938	78%
Ar Comprimido	538.130	7%	-	-	538.130	7%
Iluminação	72.924	1%	-	-	72.924	1%
Arrefecimento Processos	247.388	3%	-	-	247.388	3%
Aquecimento Processos	133.896	2%			133.896	2%
AVAC	922.521	12%			922.521	11%
Outros	47.223	1%	-	-	47.223	1%

Tabela 5.1.5 - Desagregação do consumo de energia pelos principais consumidores da entidade A

Pode assim verificar-se que o setor com maior consumo energético é o processo industrial. Este processo encontra-se associado aos formos de indução cuja eficiência pode sofrer perdas, pois existem fatores inerentes ao próprio processo que podem contribuir para esse efeito.

O AVAC e a produção de ar comprimido representam, respetivamente 11% e 6%, do consumo energético da instalação. O setor “outros” engloba os consumos associados aos serviços auxiliares, como escritórios e outros pequenos consumidores não relevantes.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

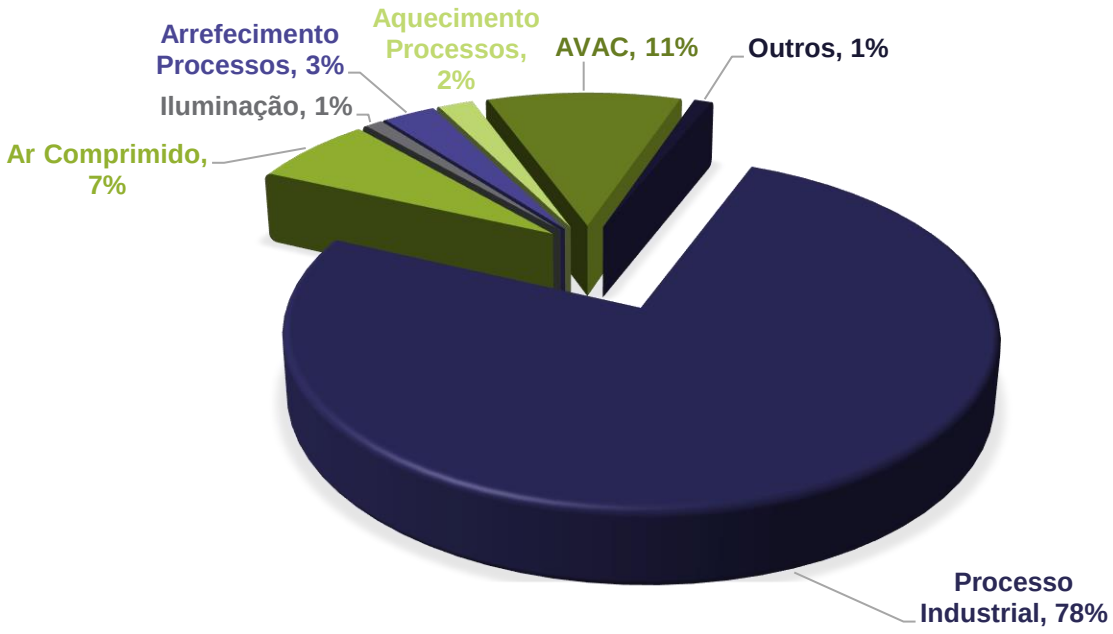

Figura 5.1.3 - Desagregação do consumo de energia pelos principais consumidores da entidade A

5.2. Caso de estudo fundição metais não ferrosos

Entre os diversos metais não ferrosos que são trabalhados na indústria da fundição, os mais conhecidos são o alumínio, cobre, níquel, zinco, titânio e ligas como o latão. No entanto, em Portugal, o metal não ferroso mais trabalhado é o alumínio.

O fabrico de peças por meio de injeção de matéria necessita que a mesma se encontre no estado líquido, tal é feito com recurso a fornos de queima a gás natural. A matéria-prima é mantida no estado líquido em fornos de manutenção até seguir para a injeção.

As formas de energia consumidas neste tipo de fundições são a Energia Elétrica e o Gás Natural. No quando seguinte é apresentada uma média de consumos deste tipo de fundição no período de referência (ano de 2021) para as diferentes formas de energia, com conversões para Energia Primária (tep) e Energia Final (GJ) bem como o custo e emissões de CO_2 associadas.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Forma de Energia	Quantidade	tep	GJ	€	tCO_2
Energia Elétrica (kWh)	6.064.123	1.304	21.831	702.701	2.850
Gás natural (m3)	814.163	737	30.858	251.067	1.978
Total	--	2.041	52.689	953.767	4.828

Tabela 5.2.1 - Resumo das formas de energia consumidas em média pelas fundições não ferrosas (entidade B e C)

Na figura que se segue apresenta-se o resumo da distribuição dos consumos pelas diferentes formas de energia, observando-se que o consumo de Energia Elétrica e o consumo de gás natural se encontram equiparáveis.

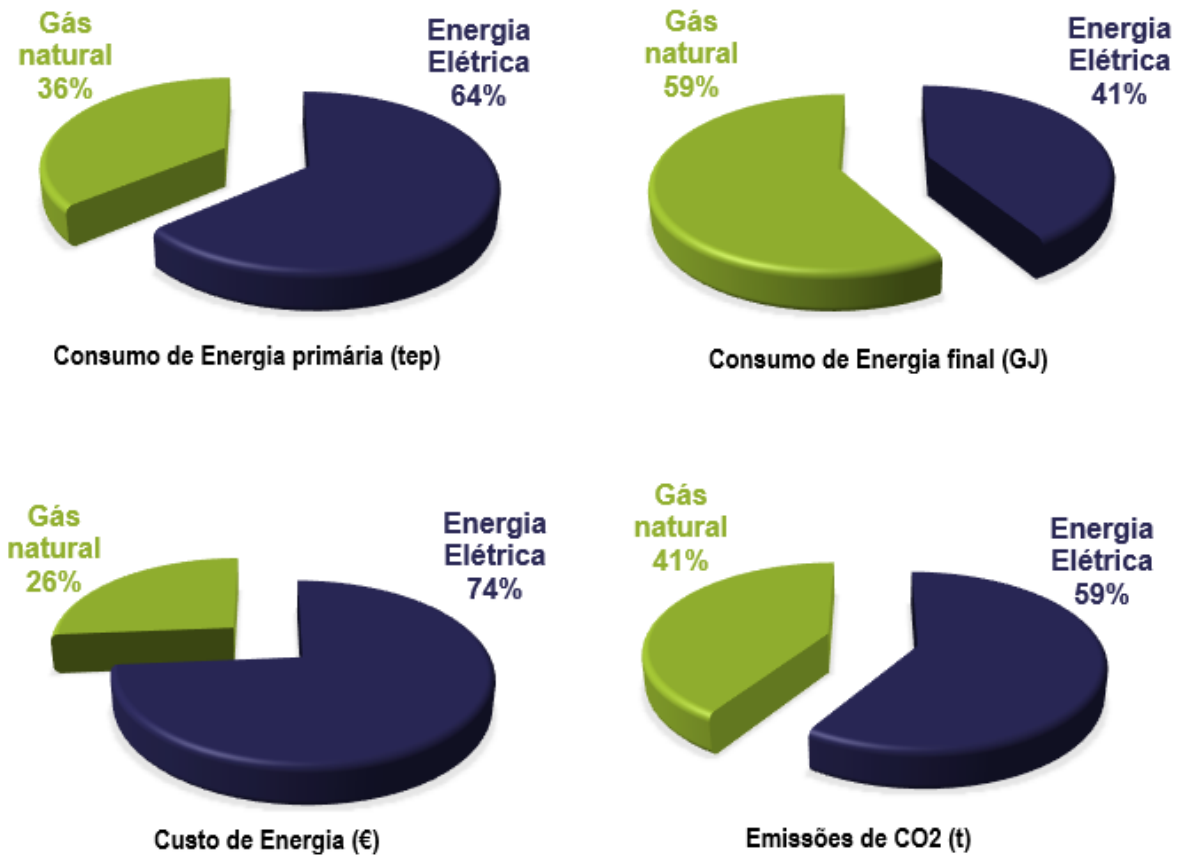

Figura 5.2.1 - Resumo geral das diferentes Formas de energia consumidas em média pela fundição metais não ferrosos (entidade B e C)

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Consumo de Energia Elétrica

No quadro seguinte apresenta-se a média dos consumos mensais de Energia Elétrica (kWh, tep e GJ), bem como os custos e emissões associadas.

Mês	Consumo			Custo	Emissões
	(kWh)	(tep)	(GJ)	(€)	(tCO2)
Janeiro	609.181	131	2.193	60.583	286
Fevereiro	547.947	118	1.973	54.171	258
Março	610.638	131	2.198	60.331	287
Abril	560.876	121	2.019	54.780	264
Maio	585.720	126	2.109	61.922	275
Junho	555.066	119	1.998	60.595	261
Julho	564.301	121	2.031	63.662	265
Agosto	271.539	58	978	26.661	128
Setembro	544.072	117	1.959	70.791	256
Outubro	490.426	105	1.766	71.699	230
Novembro	478.193	103	1.721	70.504	225
Dezembro	246.165	53	886	47.005	116
Total	**6.064.123**	**1.304**	**21.831**	**702.701**	**2.850**
Média	**505.344**	**109**	**1.819**	**58.558**	**238**

Tabela 5.2.2 - Consumo de Energia Elétrica no período de referência (média entidade B e C)

Seguidamente apresenta-se a distribuição dos consumos de energia elétrica por período tarifário.

Mês	HVN (kWh)	HSV (kWh)	HP (kWh)	HC (kWh)	Total (kWh)
Janeiro	107.829	97.737	118.015	285.601	609.181
Fevereiro	92.933	89.226	106.516	259.273	547.947
Março	99.127	98.530	113.269	299.713	610.638
Abril	99.920	93.422	64.569	302.965	560.876
Maio	99.358	93.874	68.509	323.980	585.720
Junho	105.843	90.031	63.795	295.397	555.066
Julho	95.177	91.867	67.145	310.113	564.301
Agosto	43.126	40.998	33.613	153.803	271.539
Setembro	88.491	85.954	65.563	304.064	544.072
Outubro	94.990	80.073	55.461	259.903	490.426
Novembro	82.139	74.726	92.827	228.502	478.193
Dezembro	46.711	37.347	47.561	114.547	246.165
Total	**1.055.643**	**973.782**	**896.841**	**3.137.858**	**6.064.123**
%	**17,41%**	**16,06%**	**14,79%**	**51,74%**	**100,00%**

Tabela 5.2.3 - Consumo de Energia Elétrica por período tarifário (média entidade B e C)

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

No que diz respeito aos consumos dos diferentes períodos horários verifica-se que nas Horas Cheias (HC) é consumida pouco mais de 50% da Energia Elétrica total, sendo este o período mais consumidor conforme se pode verificar através da análise da tabela anterior.

Pode visualizar-se de forma gráfica a desagregação do consumo de Energia Elétrica por período tarifário na seguinte figura.

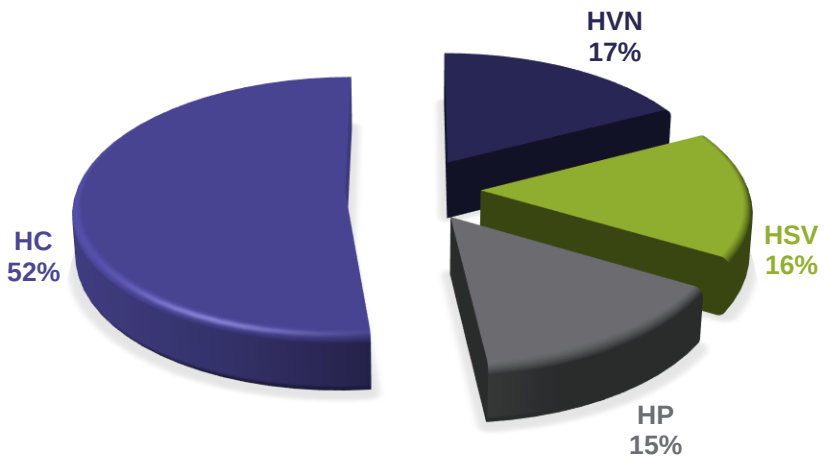

Figura 5.2.2 - Desagregação dos Consumos de Energia Elétrica por período tarifário (média entidade B e C)

Consumo de Gás Natural

O gás natural é utilizado maioritariamente nos fornos de fusão, sendo esta fonte de energia utilizada para produção de energia térmica com o objetivo de fundir a matéria-prima.

Os consumos mensais bem como os custos e as correspondentes emissões de gás natural para a fundição de metais não ferrosos é indicado na seguinte tabela.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Mês	Consumo			Custo	Emissões
	kWh	tep	GJ	Custo (€)	tCO2
Janeiro	824 527	71	2 968	23 557	190
Fevereiro	787 810	68	2 836	21 432	182
Março	865 377	74	3 115	26 938	200
Abril	820 795	71	2 955	22 487	189
Maio	828 691	71	2 983	23 920	191
Junho	838 688	72	3 019	24 093	193
Julho	825 285	71	2 971	24 326	190
Agosto	294 973	25	1 062	8 489	68
Setembro	793 421	68	2 856	22 815	183
Outubro	726 561	62	2 616	21 778	168
Novembro	684 316	59	2 464	20 784	158
Dezembro	281 344	24	1 013	10 448	65
Total	**8 571 788**	**737**	**30 858**	**251 067**	**1 978**
Média	**714 316**	**61**	**2 572**	**20 922**	**165**

Tabela 5.2.4 - Variação mensal do consumo de Gás natural no período de referência (média entidade B e C)

Consumidores de energia

Foram também identificados os principais consumidores de energia da instalação e foi quantificada a distribuição de consumos pelos diferentes setores/equipamentos encontrando-se resumidos no seguinte quadro:

Sector/Equipamento	Energia elétrica		Gás natural		Total	
	kWh	%	kWh	%	kWh	%
Total	**6.064.123**	**100%**	**8.571.788**	**100%**	**6.878.286**	**100%**
Processo Industrial	3.206.647	53%	8.571.788	100%	4.020.810	80%
Ar Comprimido	1.989.853	33%	-	-	1.989.853	14%
Iluminação	264.230	4%	-	-	264.230	2%
Frio industrial	517.557	9%	-	-	517.557	4%
Outros	85.836	1%	-	-	85.836	1%

Tabela 5.2.5 - Desagregação do consumo de energia pelos principais consumidores (média entidade B e C)

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

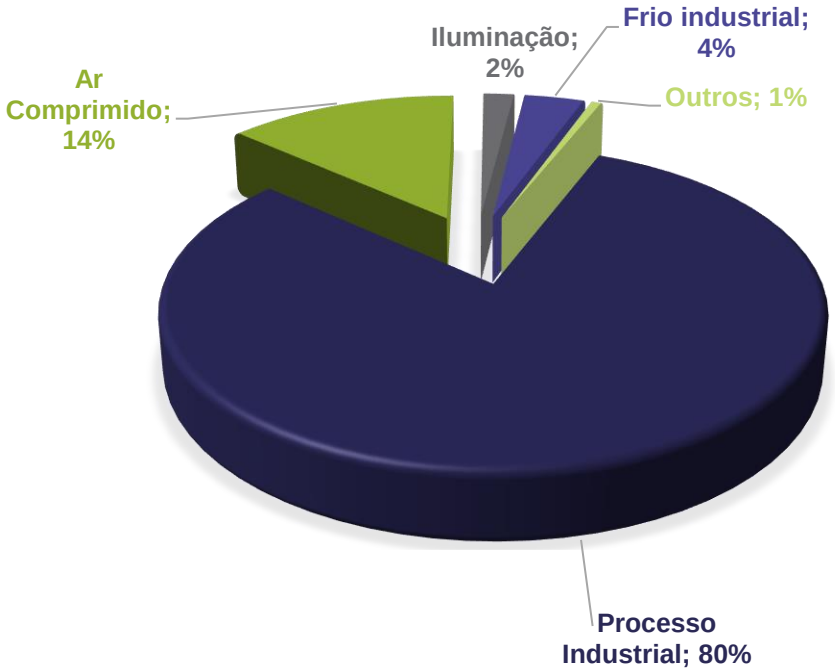

Figura 5.2.3 - Desagregação do consumo de energia pelos principais consumidores (média entidade B e C)

Na fundição de metais não ferrosos pode verificar-se que o setor com maior consumo energético se mantém no processo industrial com 80% dos consumos totais. A produção de ar comprimido representa o segundo maior consumidor com cerca de 14% do consumo energético da instalação. O setor "outros" engloba os consumos associados aos serviços auxiliares, como escritórios e outros pequenos consumidores não relevantes.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

6. IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIA

O consumo de energia é um fator crítico nas fundições que pode afetar a produtividade geral. Está comprovado que o processo de fusão consome a maior parte da energia utilizada na fundição e isso tem direcionado as fundições a empregar tecnologias de fusão mais eficientes energeticamente. No entanto existem outros fatores que levam ao alto consumo de energia nas fundições. Portanto, pode-se concluir que há potencial para reduzir o consumo de energia e aumentar a produtividade.

Com base na análise dos resultados das auditorias realizadas no âmbito deste trabalho, foram identificadas algumas oportunidades de melhoria que poderão ajudar as empresas do setor da fundição a otimizar os seus processos, obtendo como consequência economias.

6.1. Digitalização energética e analítica de dados

A Digitalização Energética consiste na captura da informação energética relevante em chão-de-fábrica, disponibilizando esta informação numa interface web para o conhecimento aprofundado do perfil de consumo dos principais consumidores energéticos. Permite monitorizar, contabilizar e arquivar os consumos energéticos das instalações, tornando possível relacioná-los com os perfis de produção, assim como detetar desvios aos padrões normais de consumo energético de cada equipamento/sistema e/ou sector de produção em tempo real.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

A utilização deste tipo de plataformas de digitalização da informação, conduz frequentemente a economias até 5% dos sistemas monitorizados. Para as instalações em análise, a economia decorrente da implementação desta medida foi quantificada em cerca de 2 % (entidade A e entidade C).

A conjugação de dados online (em tempo real) com o serviço de Gestão de Energia apresenta como vantagens:

- Conhecimento aprofundado do consumo e custo energético de cada fase, processo ou sistema;
- Avaliação da eficiência energética de um sector ou equipamento por comparação com outros de funcionamento semelhante;
- Registo histórico de dados (aquisição, análise e comparação de dados) permitindo o planeamento de ações de forma a otimizar consumos e tarifas, com a consequente redução da fatura energética;
- Identificação de consumos anómalos ou evitáveis associados a avaria, manutenção deficiente ou má utilização de recursos;
- Simulação da fatura de energia elétrica;
- Obtenção de indicadores energéticos de desempenho da instalação;
- Avaliação dos fatores que afetam o consumo energético, permitindo a análise em detalhe da sua influência na produção atual ou futura;
- Identificação de alterações na prestação de equipamentos consumidores ou produtores de energia, indicando necessidade de intervenção técnica para reparar danos ou de proceder à manutenção;
- Previsibilidade dos consumos, relativamente a aumentos ou diminuição dos níveis de produção;
- Avaliação dos consumos energéticos após a implementação de medidas de alteração efetuadas na instalação, nomeadamente medidas de eficiência energética ou de alterações de processos;
- Possibilidade de implementação de medidas de melhoria contínua no que respeita à redução do custo energético de produção;
- Relatórios periódicos de avaliação do desempenho dos sistemas monitorizados;
- Serviço de acompanhamento energético das instalações com avaliação do potencial de economias existente.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

A seleção dos pontos de monitorização propostos tem em conta a representatividade de cada um dos circuitos existentes em termos do consumo global da instalação.
Os dados de produção também deverão ser associados a estas grandezas energéticas. Deste modo, será possível o cálculo dos consumos específicos dos diferentes setores a considerar na monitorização.

6.2. Rede de ar comprimido – Deteção e eliminação das fugas e ineficiências

Num sistema de ar comprimido existe potencial para melhorias, desde o quadro de alimentação elétrica aos equipamentos, até ao consumidor final da rede de ar comprimido. As oportunidades mais evidentes ou frequentes estão normalmente associadas a:

- Redução do caudal de fugas de ar comprimido;
- Quedas de pressão resultantes de um mau dimensionamento da rede de tubagens ou dos equipamentos auxiliares de ar comprimido;
- Défice de manutenção;
- Equipamento mal ajustado ou com uma gestão ineficiente;
- Equipamento sobredimensionado.

As redes de ar comprimido estão constantemente sujeitas a alterações, em parte devido à degradação das tubagens (corrosão) ou com a modificação do layout (amplificação não estruturada), fatores esses que obrigam a uma procura permanente por melhorias, que permitam manter a rede otimizada na máxima eficiência admissível.

No decorrer dos trabalhos de campo é possível detetar o desperdício de ar comprimido na rede (fugas e ineficiências na utilização). De forma a quantificar este desperdício de ar comprimido, é efetuada uma medição do consumo de energia elétrica da central de ar comprimido na situação em que não existam consumidores ativos (ausência de produção).

Uma vez identificada a necessidade de reparação de fugas, é recomendada aos responsáveis da manutenção, que procedam à identificação das fugas e respetiva eliminação, e a sensibilização de todo o pessoal, no sentido de evitar o desperdício de ar comprimido. Esta deverá ser complementada com formação aos colaboradores de

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

forma a estes alertarem os serviços de manutenção para a eliminação das fugas existentes nos seus postos de trabalho.

A execução das ações de manutenção preventiva conforme indicação do fabricante, poderão entre outros aspetos manter inalterada a eficiência dos equipamentos. Uma manutenção adequada garante que os equipamentos trabalhem dentro dos parâmetros de referência, sem aumentos dos consumos energéticos. Além de garantir uma maior fiabilidade prolonga a vida útil dos equipamentos.

6.3. Recuperação de calor dos gases de exaustão (Instalação economizador)

Dada a elevada quantidade de energia térmica disponível após a combustão nos fornos, que é perdida por via dos gases de exaustão, a instalação de um economizador nas condutas de exaustão dos fornos de fusão é uma forma de otimiza a energia consumida para a fusão e manutenção do alumínio em estado líquido.

Deste modo, é possível aproveitar uma parcela significativa do potencial existente para utilização no processo industrial, nomeadamente o aquecimento de ar à entrada do próprio forno facilitando o processo de combustão (com impacto na redução de consumo de combustível), para o aquecimento de águas para o processo ou para AQS.

6.4. Instalação de VEV (Variador Eletrónico de Velocidade)

Um Variador Eletrónico de Velocidade é um dispositivo eletrónico que permite ajustar a velocidade do motor às necessidades reais da operação, através do ajuste da velocidade de rotação e do binário de um motor elétrico.

O controlo da velocidade dos motores elétricos sempre teve em mente a otimização do processo produtivo e a otimização de recursos energéticos. A possibilidade de variar a velocidade e o binário de um motor e por outro lado a carga acionada apresenta benefícios variados.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

A maior parte dos equipamentos funciona a uma velocidade fixa, independentemente da carga acionada, isto é, não se atende aos pontos de funcionamento em que o rendimento ou o fator potência são máximos, desperdiçando deste modo energia. Com a aplicação de reguladores eletrónicos, como é o caso do VEV é possível regular a velocidade para o valor ideal correspondente ao máximo rendimento.

O VEV permite também um melhor controlo de todo o processo onde está inserido sendo possível pequenos ajustes na operação garantindo maior precisão o que implica que as necessidades de manutenção serão por isso reduzidas, já que a melhor capacidade de controlo de todo o processo garante menores danos nos sistemas em geral.

Os ventiladores de torres de refrigeração, e as bombas de circulação associadas, por vezes, estão em constante funcionamento. Nestas condições, a torre de refrigeração encontra-se a dissipar pouca energia térmica, não justificando a sua utilização. Ao limitar o funcionamento do sistema pela diferença de temperatura exigida no processo, o sistema irá funcionar menos tempo, consumindo menos energia, e conseguirá libertar a quantidade de energia necessária para a operação continua do processo.

6.5. Sistema solar fotovoltaico

Um sistema de produção fotovoltaica é uma fonte de energia que, através da utilização de células fotovoltaicas, converte diretamente a energia luminosa em energia elétrica. Estes sistemas classificam-se em sistema autónomos com ou sem acumulação ou sistema de venda de energia à rede elétrica.

Os painéis monocristalinos apresentam uma maior densidade de potência, assim como uma maior eficiência energética, quando comparados com os modelos policristalinos. Propõe-se uma instalação dos módulos fotovoltaicos nas coberturas das várias naves. A instalação dos painéis será realizada em formato complanar. Tendo em conta a boa exposição solar da cobertura escolhida, propõe-se uma instalação complanar à mesma, o que permite uma estrutura mais simples e segura, reduzindo-se o custo de instalação e aumentando a estabilidade da estrutura.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

Tratando-se de um sistema para autoconsumo, o dimensionamento é feito com o objetivo de maximizar o autoconsumo da energia produzida e simultaneamente minimizar a ocorrência de períodos em que o excedente de produção tenha de ser injetado na rede elétrica nacional.

A quantidade de energia a injetar na rede, vai depender dos períodos de paragem ou abrandamento da instalação durante as horas de Sol (exemplo: fins-de-semana e períodos de férias).

Para quantificação da energia produzida é efetuada uma simulação com uma base de dados climáticos para a região da instalação. A instalação dos painéis deve ter em consideração os objetos que provoquem sobra, ou telhas translucidas, bem como caminhos de circulação.

6.6. Bateria de condensadores

O fator de potência permite avaliar o nível de otimização de uma instalação elétrica, sendo por isso um parâmetro essencial na rentabilização técnica e económica das instalações. Um fator de potência baixo implica um consumo elevado de potência reativa e, consequentemente, um incremento nas perdas das linhas e elementos de transformação.

A potência efetivamente consumida pela instalação elétrica, denominada potência ativa, registada pelo contador de energia elétrica é inferior à potência total (potência aparente) que circula pela instalação e que é realmente gerada e transportada pela companhia fornecedora, que deve dimensionar os seus geradores e transformadores não em função da potência que fatura, mas sim da potência aparente, sempre superior à anterior. Este é o motivo por que as companhias fornecedoras de energia elétrica faturam esta parcela (Energia Reativa) aos seus clientes que apresentam um fator de potência baixo.

A forma mais simples e económica de aumentar o fator de potência reside na instalação de condensadores que geram a energia reativa (capacitiva), fazendo com que no contador de energia elétrica circule apenas a corrente necessária ao fornecimento da potência ativa.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

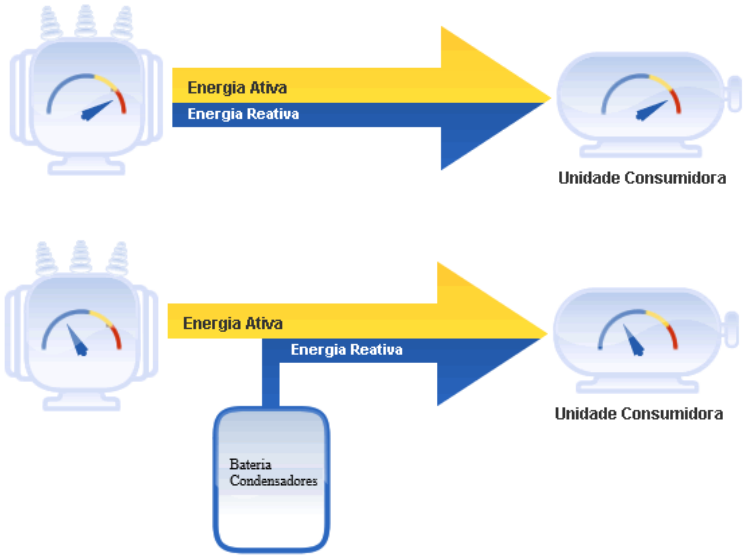

Figura 6.6.1 - Efeito compensação fator potência sobre a corrente que circula nos condutores a montante de um motor.

6.7. Ar comprimido – Recuperação de calor no compressor

Os sistemas de ar comprimido têm uma perda de energia térmica significativa. Esta energia é dissipada para a atmosfera e para o circuito de óleo de refrigeração do compressor.

Esta energia térmica pode ser recuperada de duas formas. Para utilização direta no aquecimento de espaços, utilizando o ar quente dissipado pelo mesmo, ou para aquecimento de águas, através da instalação de um permutador entre o óleo do compressor e o fluido a aquecer. Pode ainda ser utilizado para aplicações nos processos industriais, em estufas de secagem, no aquecimento de águas para pré-alimentação de caldeiras.

O potencial existente para recuperação de calor varia entre os 70% e 90% da potência elétrica média absorvida pelo compressor em condições típicas de funcionamento.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

6.8. Implementação ISO 50001

A Organização Internacional para a Padronização publicou em 2011 a Norma ISO 50001 “Energy Management Systems - Requirements with guidance for use”.

Esta foi adotada em Portugal no ano de 2012 pelo Instituto Português da Qualidade, como NP EN ISO 50001 “Sistemas de Gestão de Energia. Requisitos e linhas de orientação para a sua utilização.” e fornece as ferramentas necessárias para que as organizações consigam implementar um sistema de gestão de energia que seja eficaz. Esta norma é a referência a nível da gestão de energia nas empresas e representa normalmente uma mais-valia para as empresas certificadas. Estima-se que esta norma possa influenciar diretamente, de forma positiva, até 60 % do consumo mundial de energia.

A energia é fundamental para as operações organizacionais e pode ser um grande custo para as organizações, quaisquer que sejam suas atividades. Uma ideia pode ser obtida considerando o uso de energia através da cadeia de suprimentos de uma empresa, desde as matérias-primas até a reciclagem. Além dos custos económicos da energia para uma organização, a energia pode impor custos ambientais e sociais ao esgotar os recursos e contribuir para problemas como as mudanças climáticas. O desenvolvimento e a implantação de tecnologias para novas fontes de energia e fontes renováveis podem demorar algum tempo. Organizações individuais não podem controlar os preços da energia, as políticas governamentais ou a economia global, mas podem melhorar a maneira como gerem a energia aqui e agora. O desempenho energético otimizado pode fornecer benefícios rápidos para uma organização, maximizando o uso das suas fontes de energia e ativos relacionados com a energia, reduzindo assim o custo e o consumo de energia.

A organização também fará contribuições positivas para reduzir o esgotamento dos recursos energéticos e mitigar os efeitos mundiais do uso de energia, como o aquecimento global. A ISO pode fazer uma diferença positiva para organizações do setor da fundição num futuro muito próximo, ao mesmo tempo em que apoia esforços de longo prazo para tecnologias de energia otimizadas.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

6.9. Análise resumo das oportunidades identificadas

No contexto da aplicação das medidas mencionadas foi efetuada uma análise financeira relativamente a sua implementação. Com base no binómio investimento – economia, foi possível verificar, conforme tabela abaixo, que se atingiu um valor de período retorno investimento (PRI) na ordem dos 3,1 anos.

Oportunidades de Melhoria	PRI	PRI Ajustado*
	anos	anos
M1 - Digitalização Energética	2,4	1,0
M2 - Deteção e reparação de fugas de ar comprimido	2,0	0,8
M3 - Economizador nos fornos de fusão	6,3	6,3
M4 - Instalação de VEV	1,9	0,8
M5 - Sistema solar fotovoltaico	5,3	2,1
M6 - Bateria de condensadores	0,9	0,9
M7 - Ar comprimido - Recuperação de calor	3,1	1,2
Média	**3,1**	**1,9**

Tabela 6.9.1 - Períodos de retorno de investimento para as oportunidades identificadas. (*) Ajuste face ao aumento médio dos custos de energia.

Tendo a análise ocorrido num período que ainda não refletia a escalada de preços da energia houve necessidade de ajustar o preço kWh no cálculo dos períodos de retorno de investimento para refletir a nova realidade existindo a redução do PRI de 3,1 anos para 1,9 Anos.

Com base na média de consumos das instalações analisadas, a implementação de todas as medidas identificadas, poderá acarretar a redução de consumos na ordem dos 28% para as fundições de metais ferrosos e de aproximadamente 17% para as fundições de metais não ferrosos. Isto acarreta um potencial de economia financeira de cerca de 325.000€ por ano com os preços de energia atualizados.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

7. CONCLUSÕES

No atual contexto do uso responsável de energia, das metas estabelecidas pela União Europeia e estados-membros na redução de emissões de gases com efeito estufa e melhoria no desempenho energético, existe a necessidade de se adotarem métodos mais eficientes no consumo de energia nas atividades deste setor.

Assim, ao considerar o caso particular de três instalações do setor da fundição, uma vez que se trata de um setor com representatividade em Portugal, foi possível verificar que o consumo de energia varia de acordo com a matéria-prima utilizada e também consoante o processo produtivo adotado.

A capacidade de produção de energia térmica devido ao processo inerente de fundição e arrefecimento dos fundidos, permite considerar a possibilidade do seu aproveitamento, produção de vapor para aquecimento centralizado das instalações ou ainda a produção de ar quente para aquecimento das instalações e reintrodução no processo produtivo visando a redução do ciclo de aquecimento por energia elétrica.

Em virtude da informação exposta, foram avaliadas as MTD e o BREF, com especial foco nos dedicados à eficiência energética. Dessa avaliação, foi possível verificar a existência de algumas medidas aplicáveis no contexto da indústria da fundição transversalmente, nomeadamente no que diz respeito a implementação de sistemas de monitorização e gestão de energia.

Considera-se inevitável nos dias de hoje uma análise a 360º das oportunidades alargando o seu espetro a um conjunto mais vasto de recursos onde se incluem por exemplo as matérias-primas, os resíduos, as emissões gasosas ou os recursos hídricos.

A visão holística de todo o processo deve ser considerada como estratégico para as organizações a que deve estar associada uma forte cultura organizacional para o estabelecimento de orientações estratégicas claras, sustentadas em políticas, objetivos e planos de ação adequados com indicadores de monitorização a empregar para a monitorização do sucesso das atividades a empreender. Esta visão encontra-se alinhada com as diretrizes de gestão de energia evidenciadas na norma ISO 50001 que constitui um referencial de atuação que deverá ser adotado pelas organizações.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

O aparecimento de novos métodos e técnicas, a tecnologia e a ciência em desenvolvimento constante e ainda processos emergentes estão a ser introduzidos no setor, tornando as MTD um instrumento dinâmico. A revisão dos documentos de referência deve ser um processo continuo. O aumento da eficiência energética na indústria exige uma atitude pró-ativa por parte dos seus responsáveis no sentido de se verificar uma melhoria efetiva dos seus equipamentos e processos com a utilização de novas tecnologias e estratégias disponíveis atualmente.

Uma eficiente gestão do consumo de energia é uma estratégia global de redução de custos com imediato impacto no lucro gerado por entidades geradoras de riqueza. A longo prazo, é uma estratégia de proteção contra futuros aumentos no custo do fornecimento da energia elétrica, regulamentações comunitárias ambientais e proteção da capacidade de competitividade.

ccenergia - Auditoria e Consultoria Energética, Lda.
Pavilhão Multiusos, Av. Dr. Mário Soares, 2040-413 Rio Maior
Tel.: 219 328 252 | E-mail: geral@ccenergia.com | www.ccenergia.com

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] https://www.caef.eu/wp-content/uploads/2019/01/CAEF-Co7_2020-complete.pdf

[2] https://www.thewfo.com/contentfiles/downloads/51.pdf

[3] https://www.caef.eu/statistics/

[4] https://apf.com.pt/numeros-do-setor/

[5] https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2022-02/SF_BREF_D1_web.pdf

[6] https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616308526

[7] https://www.act.gov.pt/(pt-PT)/Publicações/ProjetosApoiados

[8] Decreto-Lei nº. 194/2000, de 21 de agosto

[9] www.ine.pt/ine_novidades/semin/cae/CAE_REV_3.pdf

[10] https://www.meesi.pt/medidas-setor/metalurgia-e-fundicao

[11] http://cmarket.aida.pt/wp-content/uploads/2015/06/EstudoEnergtico.pdf

[12] https://www.foundry-planet.com/

[13] https://www.gee.gov.pt/pt/lista-publicacoes/estatisticas-setoriais/

[14] https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/665/1/012024/pdf

[15] https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/resources/metalcasting/

[16] https://paginas.fe.up.pt/fundicao/bat/Best_Available_Techniques-09-01-04.pdf

[17]https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/oee/pdf/cipec/ieep/newscentre/foundry/Foundry_eng.pdf

[18] http://foundryinfo-india.org/tech_section/pdf/57ifctp12.pdf

CCENERGIA

Por um presente com futuro
para todos e para o planeta.

Escritório Sede
Pavilhão Multiusos
Avenida Dr. Mário Soares
2040-413 Rio Maior

Escritório Lisboa
Rua Pedro Nunes, 13 A
2660-461 Sto. António de Cavaleiros

Escritório Porto
Rua Engenheiro Frederico Ulrich, 2650
Lote 7 - Piso 0, A007 e A008
4470-605 Maia

+ 351 219 328 252 www.ccenergia.com geral@ccenergia.com