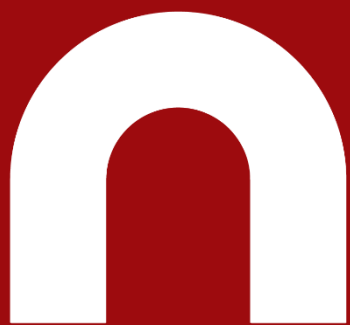




isec
Engenharia

MESTRADO EM ENGENHARIA
MECÂNICA

**Análise aos consumos energéticos no
sector da fundição e melhorias no sector
da macharia na Fucoli-Somepal**

Autor

João Paulo Marques de Matos

Orientador

Professor Doutor Pedro Miguel Soares Ferreira

Coimbra, fevereiro de 2023

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Análise aos consumos energéticos no sector da fundição e melhorias no sector da macharia na Fucoli-Somepal

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos

Autor

João Paulo Marques de Matos

Orientador

Professor Doutor Pedro Miguel Soares Ferreira

Supervisor na empresa Fucoli-Somepal, S.A.

Engenheiro Bruno Santos

Coimbra, fevereiro de 2023

Agradecimentos

A realização deste Projeto apenas foi possível graças à colaboração, presença e apoio de algumas pessoas, às quais quero deixar aqui o meu reconhecimento.

Em primeiro lugar, um especial agradecimento à empresa Fucoli-Somepal, S.A, pela sua disponibilidade e ajuda na realização do estágio. Desde logo, salientar a confiança, disponibilidade e apoio por parte do Eng.º Bruno Santos, do Eng.º André Soares, do Eng.º Marcelo Abrantes, do Eng.º Pedro Quaresma, do técnico de laboratório Sérgio Silva, do Sr. º José Carlos do comboio logístico e todos os outros colaboradores que me ajudaram no estágio.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Pedro Miguel Soares Ferreira, pelo acompanhamento ao longo da realização deste Projeto, bem como, a todos os professores do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer à minha família, pais, irmão e namorada pelo carinho e incentivo diário ao longo de toda esta etapa, por estarem sempre presentes quer nos momentos bons quer nos menos bons. Aos meus amigos, que me acompanharam neste percurso, sempre com uma palavra de encorajamento.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo uma análise aos consumos de energia elétrica num sector da empresa Fucoli-Somepal, de forma a tentar melhorar os consumos da fundição, através do desenvolvimento de atividades e operações de melhoria continua para suporte na gestão de produção.

Para além do que foi referido anteriormente, também no sector da macharia da empresa existiu a alteração dos processos através da melhoria da acessibilidade e organização do sector. Esta estratégia permitiu detetar pontos críticos de consumo excessivo de energia e identificar ineficiências no fluxo operacional produtivo que favoreciam o desperdício através de ações sem valor acrescentado.

Palavras-Chave: fornos elétricos, consumo de energia, eficiência energética, macharia, organização

Abstract

The present work aims to analyze the electricity consumption in a sector of the company Fucoli-Somepal, in order to try to improve the consumption of the foundry, through the development of activities and operations of continuous improvement to support the production management.

In addition to what as mentioned above, in the company's machine shop sector there was also a change in processes through improved accessibility and organization of the sector. This strategy made it possible to detect critical points of excessive energy consumption and identify inefficiencies in the productive operational flow that favored waste through actions without benefit.

Palavras-Chave: electric ovens, energy consumption, energy efficiency, machine shop, organization

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Índice	iv
Índice de figuras	vi
Índice de tabelas	ix
Abreviaturas	x
CAPÍTULO 1 - Introdução	1
1.1 - Objetivos	1
1.2 - Estrutura do Trabalho	2
CAPÍTULO 2 - Fucoli-Somepal S.A.	3
2.1 - Produtos produzidos na Fucoli-Somepal S.A.	4
2.2 - Principais secções da empresa	5
2.2.1 - Sector da Carpintaria	6
2.2.2 - Sector da Macharia	9
2.2.3 - Sector da Fundição	14
2.2.4 - Sector da Granalha e Rebarbação	22
2.2.5 - Sector da Maquinação	24
2.2.6 - Sector da Montagem	25
2.2.7 - Sector do Armazém	26
2.3 - Comboio Logístico	27
CAPÍTULO 3 - Trabalhos efetuados durante o estágio	29
3.1 - Análise às perdas energéticas no sector da fundição	29
3.1.1 - Metodologia Utilizada	31
3.1.2 - Consumos de Energia Elétrica	32
3.1.3 - Consumos Energéticos na Fusão	36
3.1.4 - Diagrama de Pareto	44
3.2 - Alterações dos processos no sector da Macharia	46
3.2.1 - Lançamento dos machos no sistema produtivo	47
3.2.2 - Melhoria da mistura dos machos	48
	iv

3.2.3 - Verificação da eficiência global dos equipamentos de machos	50
3.2.4 - Melhoria da acessibilidade e organização do sector da macharia	53
CAPÍTULO 4 – Conclusões e Trabalhos Futuros	56
4.1 - Principais Conclusões	56
4.2 - Recomendações Futuros	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

Índice de figuras

FIGURA 1 - IMAGEM AÉREA DA FUCOLI-SOMEPAL S.A.	3
FIGURA 2 - ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DA FUCOLI-SOMEPAL, S.A.	4
FIGURA 3 - EXEMPLO DE PEÇAS PRODUZIDAS NA FUCOLI-SOMEPAL S.A. 1.1: VÁLVULAS; 1.2: ACESSÓRIOS PARA VÁLVULAS; 1.3: VÁLVULAS DE AR; 1.4: MARCOS DE INCÊNDIO; 1.5: SELAS E JUNTAS; 1.6: FLANGES E TUBOS; 1.7: ACESSÓRIOS EM FERRO FUNDIDO DÚCTIL; 1.8: VÁLVULAS E ACESSÓRIOS PARA USO RESIDUAL; 1.9: TAMPAS DE ESGOTOS; 1.10: GRELHAS; 1.11: MATERIAL DECORATIVO	5
FIGURA 4 - ESQUEMA DO PROCESSO PRODUTIVO DE QUALQUER PEÇA NA FUCOLI-SOMEPAL, S.A.	6
FIGURA 5 - IMAGEM DO KARDEX NO ARMAZENAMENTO DAS PLACAS MOLDE E DAS CAIXAS DE MACHOS.	7
FIGURA 6 - PORMENOR DO INTERIOR DO ARMAZÉM KARDEX, NA TROCA DE UMA PLACA MOLDE.	7
FIGURA 7 - EXEMPLO DE UMA PLACA MOLDE PRODUZIDA EM MADEIRA.	8
FIGURA 8 - EXEMPLO DE UMA MEIA MOLDAÇÃO SUPERIOR DE A MEIA MOLDAÇÃO INFERIOR.	8
FIGURA 9 - EXEMPLO DE UMA PLACA MOLDE PRODUZIDA EM AÇO.	9
FIGURA 10 - IMAGEM DO SECTOR DA MACHARIA DA FUCOLI-SOMEPAL, S.A.	10
FIGURA 11 - EXEMPLO DE UMA CAIXA DE MACHOS PARA PRODUÇÃO DE UM FECHO DE TAMPAS DE SANEAMENTO.	10
FIGURA 12 - EXEMPLO DA ENTRADA DA CAIXA DE MACHOS COM EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA NA MÁQUINA BICOR 3300.	11
FIGURA 13 - RESULTADO FINAL DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UM MACHO.	12
FIGURA 14 - VISUALIZAÇÃO DA CAIXA DE MACHOS COLOCADA NO EQUIPAMENTO PARA DEPOSIÇÃO DA AREIA E SUA COMPACTAÇÃO.	12
FIGURA 15 - EXEMPLO DA PINTURA DE MACHOS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE TINTA DE BASE AQUOSA.	13
FIGURA 16 - MACHOS PRONTOS E COLOCADOS EM SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO DA LINHA DE PRODUÇÃO DA FUCOLI-SOMEPAL, S.A.	14
FIGURA 17 - IMAGEM DO LABORATÓRIO DE ENSAIOS DA FUCOLI-SOMEPAL, S.A.	15
FIGURA 18 - VISUALIZAÇÃO DO ESPECTRÓMETRO QUE É USADO PARA ANÁLISE DOS CONSTITUINTES DO BANHO DE FERRO.	16
FIGURA 19 - VISUALIZAÇÃO DO SISTEMA DE TELAS, RESPONSÁVEL PELA ALIMENTAÇÃO DOS VÁRIOS CONSTITUINTES DA AREIA VERDE PARA OS MOINHOS.	17
FIGURA 20 - EXEMPLO DO EQUIPAMENTO DE MOLDAÇÃO EM PROCESSO PRODUTIVO.	17
FIGURA 21 - MOLDAÇÕES SEGUINDO PARA O VAZAMENTO COM COLOCAÇÃO DE PESOS METÁLICOS PARA QUE NÃO EXISTA DESALINHAMENTO NAS MOLDAÇÕES.	18
FIGURA 22 - O MINÉRIO DE FERRO É CONSTITUÍDO POR MAGNETITE (A), LIMENITE (B) E HEMATITA (C) (INFOMET, 2020).	19

FIGURA 23 - IMAGEM DA BOCA DO FORNO DE INDUÇÃO DA FUCOLI-SOMEPA S.A. ONDE É POSSÍVEL VISUALIZAR O METAL NO ESTADO LÍQUIDO.	20
FIGURA 24 - VISUALIZAÇÃO DO VAZAMENTO DO METAL LÍQUIDO DEPOIS DO ACERTO DA SUA COMPOSIÇÃO QUÍMICA.	20
FIGURA 25 - VISUALIZAÇÃO DA COLHER ANTIGA (A) E DA COLHER AUTOMATIZADA (B), RESPONSÁVEL PELO TRANSPORTE DE METAL LÍQUIDO DESDE O FORNO DE INDUÇÃO PARA A LINHA DE ENCHIMENTO.	21
FIGURA 26 - VISUALIZAÇÃO DO SISTEMA TUNDISH EM PROCESSO DE REPARAÇÃO.	21
FIGURA 27 - VISUALIZAÇÃO DOS CARRINHOS DE TRANSPORTE DAS CAIXAS, O DESIGNADO SISTEMA DYUTEC.	22
FIGURA 28 - VISUALIZAÇÃO DAS PEÇAS À SAÍDA DA MÁQUINA DE GRANALHA.	23
FIGURA 29 - PEÇAS REBARBADAS PRONTAS PARA RECEBER PINTURA A PRETO POR IMERSÃO.	23
FIGURA 30 - VISUALIZAÇÃO DE UM “T” ONDE SE PROCEDEU À MAQUINAGEM POR CNC DAS FALANGES DE APERTO.	24
FIGURA 31 - VISUALIZAÇÃO DA MAQUINAGEM DE UM MOLDE EM MADEIRA.	25
FIGURA 32 - IMAGEM DE UM MARCO DE INCÊNDIO FABRICADO NA FUCOLI SOMEPA S. A.	25
FIGURA 33 - EXEMPLO DE UM ENSAIO DE COMPRESSÃO PARA DETERMINAR AS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, MÓDULO DE ELASTICIDADE E TENSÃO DE ESCOAMENTO.	26
FIGURA 34 - EXEMPLO DE PEÇAS EMBALADAS E PRONTAS PARA SEREM ENVIADAS PARA OS CLIENTES.	27
FIGURA 35 - VISUALIZAÇÃO DO COMBOIO LOGÍSTICO DA FUCOLI-SOMEPA S.A.	28
FIGURA 36 - EXEMPLO DA DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DIÁRIO DE ENERGIA ELÉTRICA NUMA FUNDIÇÃO (AMADO, 2018).	30
FIGURA 37 - EVOLUÇÃO MENSAL DO CONSUMO DE A ENERGIA ELÉTRICA FUCOLI-SOMEPA S.A. EM KWH DURANTE OS MESES DE ESTÁGIO.	32
FIGURA 38 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ATIVA POR PERÍODO HORÁRIO EM KWH QUE OCORREU DURANTE UM DIA DE TRABALHO NO MÊS DE MARÇO DE 2021.	33
FIGURA 39 - ENERGIA CONSUMIDA POR CADA TONELADA DE FERRO PRODUZIDO DURANTE O ANO DE 2020 E 2021.	35
FIGURA 40 - VISUALIZAÇÃO DO NOVO SISTEMA OPERATIVO DE CONTROLO DOS FORNOS, COM INFORMAÇÃO SOBRE ALGUNS PARÂMETROS DA FUSÃO.	36
FIGURA 41 - VAGONETE COM CARREGAMENTO DE SUCATA E PRONTA PARA SER ADICIONADA AO PROCESSO DE FUSÃO.	38
FIGURA 42 - EXEMPLO DOS ADITIVOS QUE SÃO ADICIONADOS À FUSÃO.	39
FIGURA 43 - REPRESENTAÇÃO DOS CUSTOS DE ENERGIA CONSUMIDA POR TONELADA DE FERRO FUNDIDO PARA O MÊS DE MARÇO DA 2021.	44
FIGURA 44 - DIAGRAMA DE PARETO DOS MESES DE ESTUDO.	46
FIGURA 45 - EXEMPLO DE UM TALÃO DE PRODUÇÃO, ONDE CONSTA O ESTADO DA CAIXA DE MACHOS, EQUIPAMENTO ONDE FOI PRODUZIDO O MACHO, QUANTIDADE E DESIGNAÇÃO DO MACHO.	48

FIGURA 46 - ECRÃ DA MÁQUINA COM A RESPETIVA MISTURA	49
FIGURA 47 - IMPLEMENTAÇÃO DE ETIQUETAS COM INFORMAÇÃO VISUAL NO NÍVEL DE ÓLEO DAS MÁQUINAS DO SECTOR DA MACHARIA.	54
FIGURA 48 - VISUALIZAÇÃO DO <i>SOFTWARE</i> ANTIGO DAS MÁQUINAS(A) E <i>SOFTWARE</i> NOVO DAS MÁQUINAS (B).	55
FIGURA 49 - SISTEMA DE FIXAÇÃO DAS FICHAS NAS CAIXAS DE MACHOS.	55

Índice de tabelas

TABELA 1 - ENERGIA CONSUMIDA EM MÉDIA EM ALGUNS PROCESSOS TECNOLÓGICOS (AMADO, 2018).	30
TABELA 2 - DISTRIBUIÇÃO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ATIVA EM CICLOS E POR PERÍODO HORÁRIO DE SEGUNDA A SEXTA-FEIRA.	33
TABELA 3 - DISTRIBUIÇÃO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ATIVA EM CICLOS E POR PERÍODO HORÁRIO DURANTE O FIM-DE-SEMANA.	33
TABELA 4 - CUSTOS DA ENERGIA ATIVA PARA O DIA 1 DE MARÇO DE 2021 EM FUNÇÃO PERÍODO TETRA-HORÁRIO CONTRATADO DA EMPRESA.	34
TABELA 5 - APRESENTAÇÃO DO TEMPO TOTAL DE FUSÃO, DA ENERGIA CONSUMIDA E DA QUANTIDADE DE FERRO PRODUZIDO DIARIAMENTE AO LONGO DO MÊS DE MARÇO DE 2021	41
TABELA 6 - APRESENTAÇÃO DOS MINUTOS DE MANUTENÇÃO E DE ENERGIA CONSUMIDA DURANTE A FASE DE MANUTENÇÃO DO FORNO AO LONGO DO MÊS DE MARÇO DE 2021.	42
TABELA 7 - APRESENTAÇÃO DOS MINUTOS DE MANUTENÇÃO E DE ENERGIA CONSUMIDA DURANTE A FASE DE VAZAMENTO DO FORNO AO LONGO DO MÊS DE MARÇO DE 2021.	43
TABELA 8 - APRESENTAÇÃO DOS MINUTOS DE PARAGEM QUE A LINHA DE PRODUÇÃO TEVE AO LONGO DO MÊS DE MARÇO DE 2021.	45
TABELA 9 - TABELA INDICADORA DOS VALORES DE REFERÊNCIA DO OEE, ADAPTADO DE (NAKAJIMA, 1988).	51
TABELA 10 - VALORES DA MÁQUINA DA MACHARIA BICOR 3200-04, PARA CÁLCULO DO VALOR DE OEE.	52

Abreviaturas

Fe-Si - Ferro-Silício

Fe-Mn - Ferro Manganês

SiC - Carboneto de Silício

Fe₃O₄ - Magnetite

2Fe₃O₂-3H₂O - Limenite

Fe₂O₃ - Hematita

CO₂ - Dióxido de Carbono

CNC - Controle Numérico Computadorizado

OEE - *Overall Equipment Effectiveness*

CAPÍTULO 1 - Introdução

Este trabalho surge no âmbito de trabalho final de mestrado para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica lecionado no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC).

Das opções que eram tidas para finalizar o curso, a escolha recaiu na realização de um estágio curricular. Esta opção foi feita devido ao interesse que existe por conhecer melhor o mundo de trabalho e ao mesmo tempo tentar perceber melhor o funcionamento de uma empresa e assim, ter um contacto direto com um grupo de trabalho e ganhar experiência no sector industrial.

A empresa escolhida para a realização do estágio curricular foi a *Fucoli Somepal, S.A.* A *Fucoli Somepal, S.A.* é uma empresa que tem uma grande experiência no desenvolvimento de produtos de ferro fundido para redes de água potável e residual, gás, telecomunicações e combate a incêndio. Pode-se referir ainda que é uma empresa líder no mercado nacional e uma das últimas fundições para soluções de água com uma produção 100% europeia, e com presença a nível mundial, exportando para mais de 60 países.

1.1 - Objetivos

O estágio curricular teve início no dia 30 de novembro de 2020 e terminou a 30 de julho de 2021 e foram definidos os seguintes objetivos para o estágio:

- Acompanhamento de todo o processo de fabrico da empresa;
- Análise e avaliação dos procedimentos iniciais da organização industrial em vigor;
- Analisar e tentar reduzir o consumo de energia elétrica da fábrica sem diminuir a produção, tornando-a mais eficiente;
- Medição, monitorização e comparação dos resultados obtidos;
- Otimizar a produção de machos e a sua qualidade de acabamento;
- Organizar a secção da macharia;
- Consolidação das capacidades e conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico;

1.2 - Estrutura do Trabalho

Este trabalho encontra-se dividido em quatro capítulos. O primeiro capítulo é relativo à introdução do trabalho e enumeram-se os objetivos que foram traçados para o estágio curricular e também se apresenta estrutura do trabalho.

No segundo capítulo faz-se uma breve apresentação da empresa *Fucoli-Somepal, S.A.*, fazendo referência à sua história, aos seus sectores laborais, às suas peças fabricadas e por fim as suas secções e a função de cada uma delas.

No terceiro capítulo os trabalhos efetuados durante o estágio que está dividido em duas secções, a da fundição e da macharia. Na primeira parte do capítulo está desde logo, a verificação do problema que originou a realização e desenvolvimento deste trabalho, através da análise e da recolha de dados, que permitiu identificar onde existiam os maiores consumos de energia. Posteriormente, estudou-se o funcionamento dos fornos de forma a melhorar os consumos energéticos. Além disso, apresenta-se o consumo de energia elétrica da fábrica, o consumo durante a fusão e quais as metodologias utilizadas na melhoria do consumo. Foi feito o diagrama de Pareto para identificação das consequências das paragens não planeadas na linha de produção. Por fim, foi feita uma análise ao procedimento da seleção das matérias-primas e determinando a sua influência o consumo energético. Na segunda parte do capítulo será feita uma breve explicação sobre o sector da Macharia, modo e planeamento da produção de machos, lançamento dos machos no sistema e método de colocação de machos na linha, uma breve explicação da melhoria permanente das misturas dos machos, cálculo do OEE onde foi verificada a eficiência e apresentadas algumas melhorias de acessibilidade e organização no sector.

Por último, serão discutidas as conclusões e apresentadas as melhores formas para reduzir os consumos da fábrica e, assim, conseguir a melhoria desejada.

CAPÍTULO 2 - Fucoli-Somepal S.A.

Em 29 de Julho de 1946, nasce a Fucoli – Fundição Conimbricense, LDA na cidade de Coimbra, com cerca de 10 trabalhadores. Porém, a fabricação de material para o setor de abastecimento de água e saneamento, inicia-se apenas 1949. Anos mais tarde, em 2 de março de 1957, é criada a Somepal – Sociedade Metalúrgica da Pampilhosa, LDA na Pampilhosa, que se dedicava à fabricação e comercialização de diversos tipos de válvulas.

Em 1990, a Fucoli, LDA adquire a totalidade das cotas da Somepal e realiza grandes investimentos para garantir a boa relação qualidade-preço. Em 1998 tem lugar a fusão da Fucoli com a Somepal originando o nome pela qual a conhecemos atualmente - Fucoli-Somepal S.A, tendo esta a sua sede em Coimbra (Figura 1) e a filial na Pampilhosa.

O objetivo da empresa, que se encontra em funcionamento desde 1946, é conciliar a tradição e a inovação. A Fucoli-Somepal S.A. é uma empresa com vasta experiência no desenvolvimento de produtos em ferro fundido para redes de água potável e residual, gás, telecomunicações e combate a incêndio. (Fucoli Somepal, 2021)



Figura 1 - Imagem aérea da Fucoli-Somepal S.A.

A Fucoli-Somepal S.A., encontra-se subdividida em setores, os quais trabalham em conjunto, com o objetivo de garantir aos clientes um elevado nível de qualidade, inovação, confiança e sustentabilidade. Na Figura 2 apresenta-se de forma esquemática divisão da Fucoli-Somepal S.A. pelos diversos sectores.

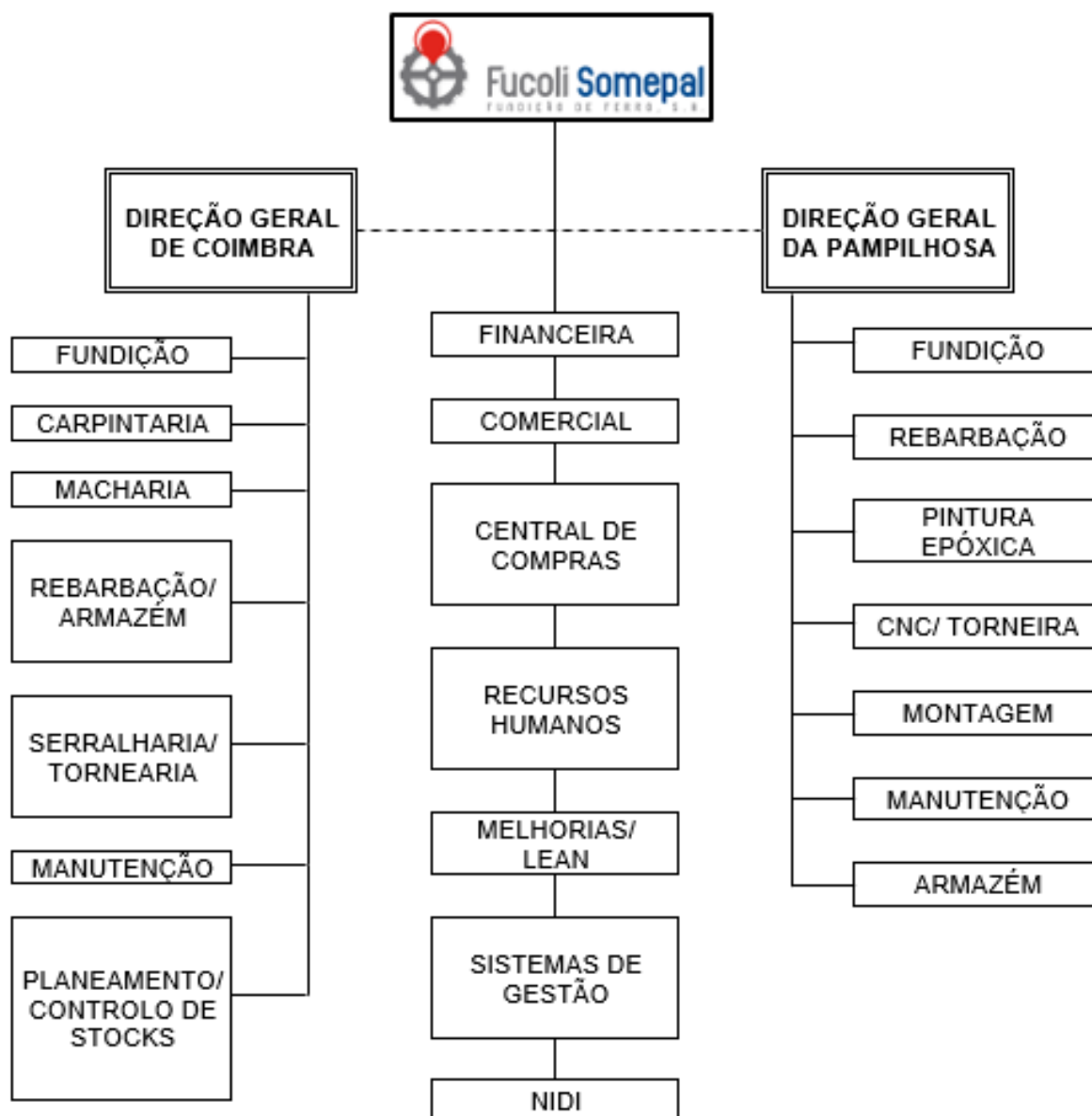


Figura 2 - Estrutura organizacional da Fucoli-Somepal, S.A.

2.1 - Produtos produzidos na Fucoli-Somepal S.A.

O processo de fundição de ferro consiste na seleção e fusão de matérias-primas que são inseridas em fornos, onde irão ser transformadas em metal líquido, a temperaturas muito elevadas. Seguidamente procede-se ao vazamento desse metal líquido para moldes de areia. Após solidificação, a peça metálica, passa por um processo de arrefecimento no interior do molde, desmoldagem e acabamento, antes de se tornar

o produto final. Na figura 3, são apresentados alguns dos produtos produzidos na Fucoli-Somepal S.A.



Figura 3 - Exemplo de peças produzidas na Fucoli-Somepal S.A. 1.1: Válvulas; 1.2: Acessórios para válvulas; 1.3: Válvulas de ar; 1.4: Marcos de incêndio; 1.5: Selas e juntas; 1.6: Flanges e tubos; 1.7: Acessórios em ferro fundido dúctil; 1.8: Válvulas e acessórios para uso residual; 1.9: Tampas de esgotos; 1.10: Grelhas; 1.11: Material Decorativo

2.2 - Principais secções da empresa

Como já foi referido anteriormente, a Fucoli-Somepal S.A. encontra-se dividida em diversas secções (ou sectores), as quais vão desde Carpintaria, Macharia, Fundição, Granalhagem, Rebarbação, Maquinação, Montagem e Armazenamento.

A divisão em sectores serve para otimizar todo o seu processo produtivo (Figura 4) por forma a maximizar a produção de peças. Analisando a sua divisão é visível que qualquer peça tem a sua inicialização no sector da Carpintaria mais propriamente no desenho. Posteriormente, as peças são complementadas no sector da macharia para posterior vazamento de metal líquido no sector da fundição. Seguem-se os sectores de acabamento das peças até à zona de armazenamento de expedição.

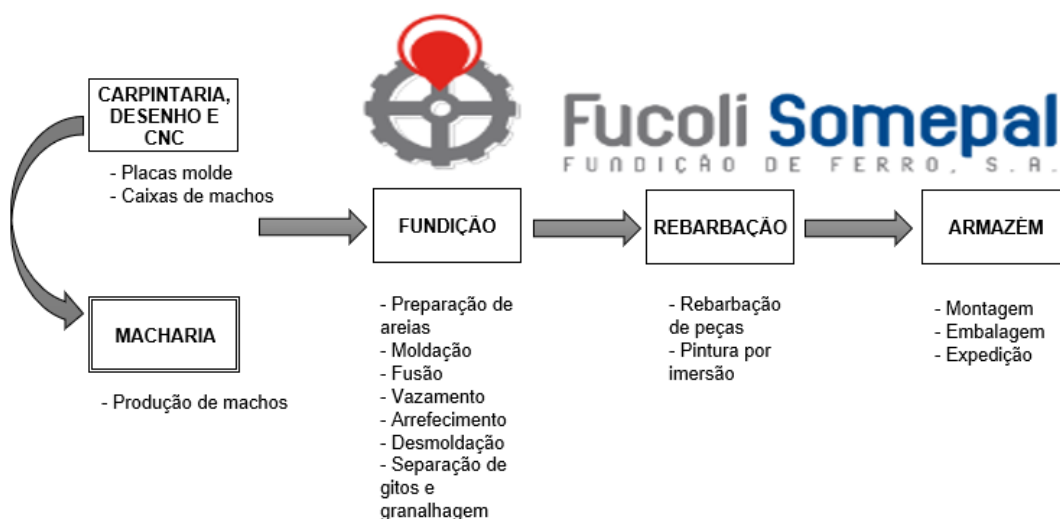


Figura 4 - Esquema do processo produtivo de qualquer peça na Fucoli-Somepal, S.A.

Seguidamente apresenta-se com mais algum detalhe cada um destes sectores, para que se possa entender a sua importância no sector produtivo dos produtos em ferro fundido.

2.2.1 - Sector da Carpintaria

Tal como referido anteriormente, o processo produtivo da empresa tem início na sua Carpintaria de Moldes. É neste local da empresa que são produzidos e preparados os moldes, as placas molde e algumas das caixas de machos. A variedade é de tal forma que neste momento a Fucoli-Somepal S.A. dispõe de aproximadamente 1000 unidades de placa molde e de caixas de machos).

Atendendo à quantidade de unidades de placa molde e de caixas de machos, estes estão armazenados num armazém automático (Figura 5), o qual tem o nome de KARDEX. As placas molde encontram-se identificadas e numeradas sequencialmente e são arrumadas no KARDEX, assim como os moldes e as caixas de machos.



Figura 5 - Imagem do KARDEX no armazenamento das placas molde e das caixas de machos.

Este armazém (KARDEX) está dividido em diferentes secções e é semelhante a um elevador (com 25 pisos), onde se encontram as placas molde e as caixas de machos armazenados. Sempre que é necessário produzir novamente uma determinada peça, vai-se ao KARDEX e retira-se a placa molde ou a caixa de machos do armazém e deixa-se lá a placa molde ou a caixa de machos que foi trazida do sector de fundição. Na Figura 6, apresenta-se em detalhe a vista interior do armazém aquando da troca de uma placa molde.



Figura 6 - Pormenor do interior do armazém KARDEX, na troca de uma placa molde.

Em relação às placas de molde, pode-se afirmar que estas podem ser produzidas de duas formas: aço ou madeira. Esta diferença no método de produção depende da geometria das peças a serem produzidas e da duração do molde. Importa referir que

no caso da Fucoli-Somepal S.A. as placas de molde são maioritariamente produzidas em madeira (Figura 7).

Como referido anteriormente, para a obtenção das peças, são produzidos moldes que vão dar origem à moldação em areia. O molde em termos geométricos é idêntico à peça em ferro fundido que se pretende produzir. Já em termos dimensionais, este é maior do que a peça em ferro fundido dada a contração de aproximadamente 1% que esta vai sofrer durante a solidificação.

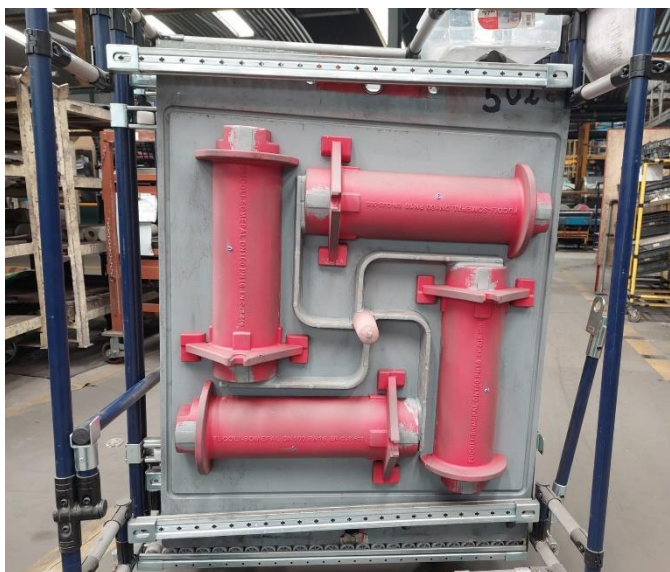


Figura 7 - Exemplo de uma placa molde produzida em madeira.

Estes moldes são aplicados em placas molde, sendo divididos pelo eixo de simetria da peça e cada metade do molde aplicada numa placa molde, uma correspondente à meia moldação superior e outra à meia moldação inferior (Figura 8).



Figura 8 - Exemplo de uma meia moldação superior de a meia moldação inferior.

Os moldes podem ser produzidos em resina, madeira ou alumínio e são aplicados em placas molde de madeira ou aço. As placas molde de aço (Figura 9) são utilizadas quando, se pretende um melhor acabamento superficial da peça.

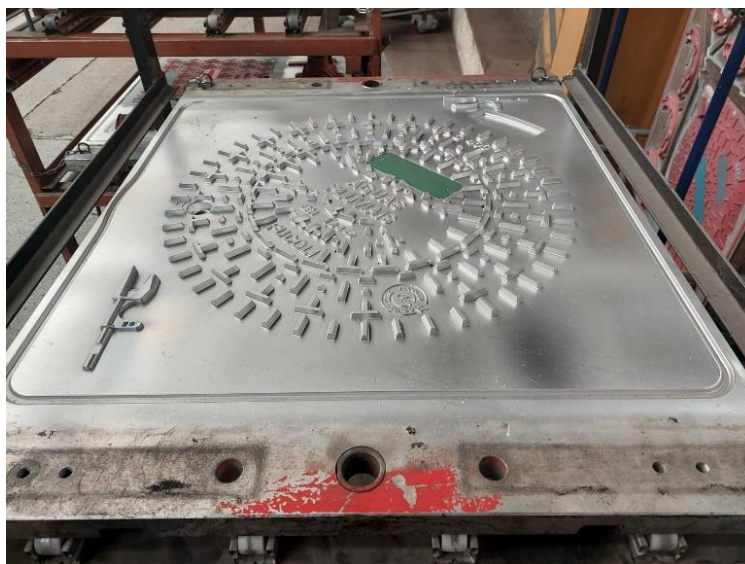


Figura 9 - Exemplo de uma placa molde produzida em aço.

Na carpintaria são ainda produzidas algumas das caixas de machos, no entanto algumas são obtidas pela maquinação de blocos de resina ou madeira com o formato do macho pretendido.

2.2.2 - Sector da Macharia

O sector da Macharia (Figura 10) surge no processo produtivo como sendo o sector responsável pelo fornecimento de todos os machos que, posteriormente, são usados no sector da Fundição. O sector da Macharia da Fucoli-Somepal, S.A., dispõe de diversos equipamentos onde são produzidos os machos. A Macharia onde se produzem os machos é aí que se inicia o processo que dá forma às cavidades internas da peça fundida, garantindo a geometria especificada do produto.



Figura 10 - Imagem do sector da macharia da Fucoli-Somepal, S.A.

Para a produção dos machos é necessário recorrer às caixas de machos para a produção dos machos. Na Figura 11, apresenta-se uma imagem de uma caixa de machos que é usada na Fucoli-Somepal, S.A., para produção das suas peças.

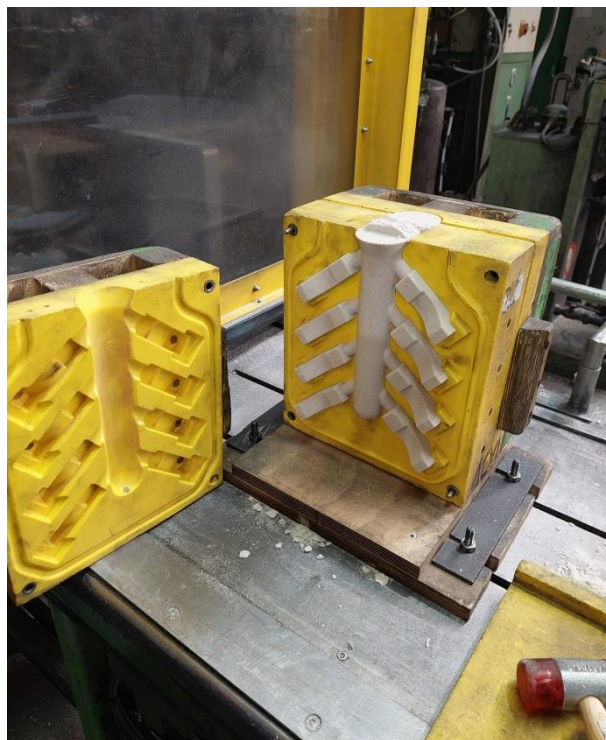


Figura 11 - Exemplo de uma caixa de machos para produção de um fecho de tampas de saneamento.

Pode-se afirmar que, a função da Macharia é auxiliar no início do projeto de cada peça que será desenvolvida. Com a criação do macho é possível obter uma série de opções favoráveis ao desenvolvimento de cada molde. O processo começa pela escolha do equipamento onde se vai produzir o macho (Figura 12). É neste equipamento que se vai colocar a areia na caixa de macho e proceder à sua compactação para formar o molde do macho que se pretende produzir.



Figura 12 - Exemplo da entrada da caixa de machos com extração automática na máquina BICOR 3300.

Atendendo que este processo não é automatizado, carece sempre da intervenção do operador, é necessário que seja dada ordem por parte do operador para que a caixa de macho seja colocada no equipamento para compactação da areia que irá dar origem ao macho. Na Figura 13 apresenta-se o resultado do processo de fabrico do macho, onde este é facilmente identificável na imagem.



Figura 13 - Resultado final do processo de produção de um macho.

Na Figura 14, apresenta-se a fase de compactação da areia na caixa de machos, produzindo desta forma o macho que posteriormente irá ser usado no sector da fundição para produção de uma peça funcional.



Figura 14 - Visualização da caixa de machos colocada no equipamento para deposição da areia e sua compactação.

Depois de serem produzidos, os machos são normalmente pintados com uma tinta de base aquosa que reveste o macho e visa proporcionar-lhe uma elevada qualidade superficial, uma grande refratariedade e uma boa impermeabilização face ao metal líquido (Figura 15).



Figura 15 - Exemplo da pintura de machos através da aplicação de tinta de base aquosa.

É através desta impermeabilização que a reação química na interface areia/metal durante o vazamento é impedida com vista há possível diminuição dos defeitos na peça final (Morgado, 2019).

Por fim, os machos são levados para as estufas de secagem. O tempo de secagem e temperatura é variável e depende da geometria e dimensão dos machos. Terminada esta etapa, os machos podem seguir para uma zona de montagem de machos formando-se um conjunto de machos ou seguir diretamente para a linha de produção (Figura 16).



Figura 16 - Machos prontos e colocados em sistemas de alimentação da linha de produção da Fucoli-Somepal, S.A.

2.2.3 - Sector da Fundição

A fundição denomina o processo onde metal líquido é colocado num molde, que contém uma cavidade com a forma desejada, permitindo que este arrefeça e solidifique. A parte solidificada é conhecida como peça fundida que é retirada do molde por um processo normal de abertura do molde ou é necessário proceder à quebra do molde para obter a peça. A fundição é mais frequentemente usada para fazer peças complexas que seriam difíceis ou demasiado dispendiosas de produzir por outros processos produtivos.

Os processos de fundição são conhecidos há milhares de anos, e amplamente utilizados em esculturas, especialmente em bronze, também em joias de metais preciosos, armas e ferramentas (Padilha, 2000). As técnicas tradicionais de fundição incluem a fundição por cera perdida, fundição por espuma perdida, fundição em conquilha e fundição em areia. O processo moderno de fundição e de uma forma muito simplista pode ser dividido em fundição de modelos “perdidos” e “permanentes”. Este é ainda dividido de acordo com o material usado no molde, areia ou metal, e também pelo método de vazamento, tal como por gravidade, a vácuo ou a baixa pressão (Ferreira, 1999).

No caso da Fucoli-Somepal, S.A., na fundição é utilizado molde com areia húmida modelada pelo formato do modelo da peça a ser fundida. É o método mais empregue na atualidade, pois serve para todos os metais, é especialmente apropriado para peças de tamanho pequeno e médio. O material dos machos, é feito a base de

aglomerados de areia e, o método de vazamento, consiste em forçar o metal líquido, sob pressão, a penetrar na cavidade do molde, chamado de matriz. Assim, devido à pressão e à alta velocidade de enchimento da cavidade do molde, este o processo possibilita o fabrico de peças de formas bastante mais complexas e com paredes mais finas do que os processos por gravidade poderiam permitir.

A matriz é geralmente construída em duas partes, hermeticamente fechadas no momento da injeção do metal líquido. Esta pode ser utilizada fria ou pré-aquecida à temperatura de trabalho, pelo que é exigido que os materiais do molde suportem essas temperaturas. O metal é injetado para dentro da cavidade da matriz e a sua quantidade deve ser suficiente, não só para preencher inteiramente esta cavidade, como também os canais localizados em determinados pontos para a saída do ar. Esses canais servem igualmente para garantir o um preenchimento do molde sem defeitos tais como porosidade por aprisionamento de ar ou juntas frias (MAGMA, 2021).

Os controlos de qualidade são essenciais para garantir um produto confiável e com garantia. É a partir deles que é possível fornecer ao mercado produtos, com alto desempenho e durabilidade. Existem várias normas para controlo da qualidade das peças fabricadas, mas a mais utilizada é a norma ISO 9001:2015 que define os requisitos para garantir altos padrões de qualidade nas peças fabricadas, satisfação dos clientes e a melhoria contínua do desempenho da empresa. Para além da certificação de qualidade anteriormente referido a qual a Fucoli-Somepal S.A. possui, a empresa implementou um laboratório interno. Este laboratório está equipado com meios humanos e equipamentos para garantir a eficiência dos processos e qualidade do produto. Dos equipamentos que o laboratório dispõe pode-se enumerar o espectrómetro de emissão ótica, equipamento de análise de areias e metalografia, tal como se apresenta na figura 17.



Figura 17 - Imagem do laboratório de ensaios da Fucoli-Somepal, S.A.

No laboratório da Fucoli-Somepal S.A. são realizadas as seguintes análises:

- A composição química através do Spectro (Figura 18);
- Análise metalográfica - grafita, matriz e nodularização através do microscópio;
- Estudo das propriedades mecânicas; e ensaios de areia – teor de finos, módulo de finura, humidade e compatibilidade.

Seguindo todos esses procedimentos de avaliação de conformidade em toda a produção, a Fucoli-Somepal, S.A oferece um alto padrão de qualidade e segurança em seus produtos.



Figura 18 - Visualização do espectrómetro que é usado para análise dos constituintes do banho de ferro.

Tal como já foi referido anteriormente, o processo de moldação utilizado na empresa é conhecido como moldação em areia verde, onde os principais componentes são:

- Areia, de tamanho e forma de grão apropriado;
- Aglomerante na forma de uma argila, nomeadamente bentonite;
- Aditivo, nomeadamente o pó de carvão
- Água, adicionada em determinada quantidade de acordo com as propriedades desejadas.

Os vários componentes acima descritos, são armazenados em silos de onde são encaminhados através de sistemas de telas de transporte (Figura 19) para um misturador, denominado de moinho. No moinho, são adicionadas quantidades pré-definidas de cada elemento de acordo com as propriedades desejadas. Todo este

processo encontra-se automatizado, sendo que todas as quantidades adicionadas são definidas através de um sistema de controlo informático.



Figura 19 - Visualização do sistema de telas, responsável pela alimentação dos vários constituintes da areia verde para os moinhos.

As areias, depois de preparadas, são encaminhadas mais uma vez através de um novo sistema de telas que alimentam a máquina de moldação (Figura 20). É neste equipamento que é doseada a areia que irá ser usada para as caixas de moldação sendo que, cada caixa de moldação irá constituir uma meia moldação. Posteriormente cada meia moldação será prensada alternadamente a placa molde referente à parte inferior e à parte superior das peças a fundir.



Figura 20 - Exemplo do equipamento de moldação em processo produtivo.

Depois de concluídas as meias moldações, estas seguem então para a zona de colocação de machos, onde estes são aplicados na meia moldação inferior. A colocação de machos, dada a grande variedade de peças é efetuada manualmente. As meias moldações são então sobrepostas seguindo para a zona de vazamento, para evitar a movimentação das moldações e o eventual aparecimento de defeitos, são colocados sobre as mesmas uns pesos metálicos (Figura 21).



Figura 21 - Moldações seguindo para o vazamento com colocação de pesos metálicos para que não exista desalinhamento nas moldações.

Para a preparação do banho de ferro fundido líquido com as características pretendidas, o forno é carregado com várias matérias-primas. Uma das principais matérias-primas é o minério de ferro (elemento mais abundante na crosta terrestre). O minério de ferro é encontrado na natureza sob a forma de rochas, a partir das quais pode ser obtido ferro metálico de maneira economicamente viável. Contudo, o ferro nunca aparece puro nessas rochas, mas combinado com outros elementos químicos. Assim, no minério de ferro podem ser extraídas de algumas matérias-primas como a Magnetite (Fe_3O_4) que é bastante rica em ferro, a Limenite ($2\text{Fe}_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) que é um óxido de ferro hidratado, a Hematita (Fe_2O_3) que é a mais utilizada para a obtenção de aço e ferros fundidos (INFOMET, 2020). Na figura 22, apresentam-se os vários constituintes do minério de ferro.

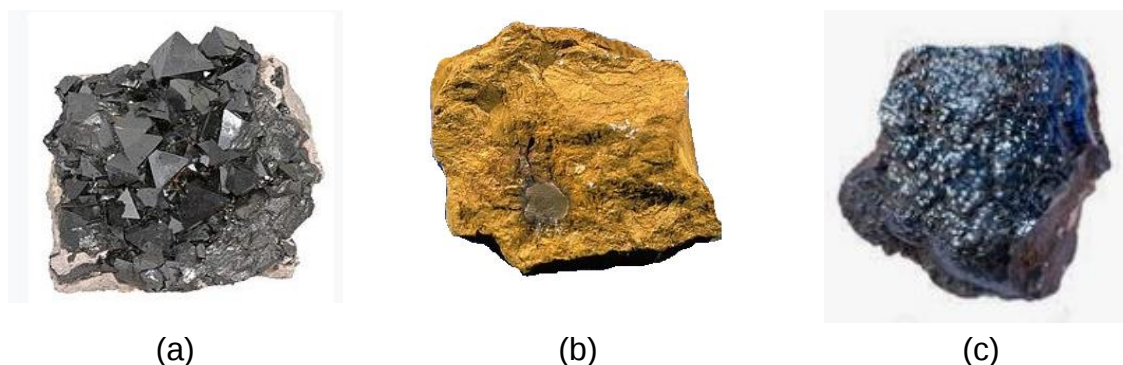


Figura 22 - O minério de ferro é constituído por Magnetite (a), Limonite (b) e Hematita (c) (INFOMET, 2020).

Para além dos constituintes anteriormente referidos, o ferro é ainda o constituinte principal de outros materiais como as sucatas de material ferroso. Enquanto, o ferro-liga representa uma liga à base de ferro, resultantes da combinação do ferro com outros elementos, as sucatas de material ferroso são componentes recicláveis (Oliveira, 2011). As várias matérias-primas são carregadas em vagonetes e depois de obtido o peso definido conduzidas até à boca do forno. Estes elementos são então descarregados no forno para a fusão.

Os primeiros altos-fornos de que há conhecimento datam do século I A.C., dinastia Han, na China. Embora os artefactos férreos encontrados nesse país remontem ao século V A.C., acredita-se que a sua história seja ainda mais antiga. Estes primitivos fornos eram constituídos por paredes de barro com grande quantidade de minerais fosfóricos. Por muito tempo, acreditou-se que os chineses haviam desenvolvido o método de fundição de ferro, porém, após uma pesquisa feita por Donald Wagner, este refere que, a data dos primeiros artefactos de fundição se situaria entre os séculos IV e V A.C. Além disso, também refere ainda que o uso de fornos de fundição foi difundido para o ocidente para fundir o bronze. Essa informação parece confirmada por *“uma das maiores obras de engenharia”*, hoje conhecida, por *“mar da fundição”*. Esta obra-prima da engenharia traduz-se numa bacia de cobre que pesava cerca de 30 toneladas e comportava 40 000 litros de água. Esta localiza-se no templo de Jerusalém, e foi construída pelo povo hebreu em meados do século IX A.C. (Wagner, 2020).

Atualmente, os fornos são constituídos por um revestimento de aço com uma forma quase cilíndrica, revestidos com tijolo resistente ao calor e fazem uso da corrente elétrica para fundir o metal. Estes fornos são designados de fornos de indução (Figura 23) e operam continuamente até que o revestimento refratário precise de renovação, o que poderá levar vários anos.



Figura 23 - Imagem da boca do forno de indução da Fucoli-Somepal S.A. onde é possível visualizar o metal no estado líquido.

Para a fusão do ferro a empresa possui um forno de indução com duas cubas com capacidade de produção de 4 Ton/h, onde enquanto uma possui o ferro em condições de ser vazado a outra encontra-se a fundir ferro, possibilitando o funcionamento em contínuo. Após a fusão e acerto da composição química, o banho é limpo recorrendo à adição de escorificantes. Seguidamente é efetuada a reação de inoculação e modularização que é realizada pela adição de inoculantes e de nodularizantes. O tratamento de modularização é efetuado com magnésio e destina-se a originar a microestrutura desejada, enquanto o tratamento de inoculação visa iniciar a precipitação de grafite após a adição de magnésio. Terminado o processo de acerto da composição química, o metal líquido é vazado para um sistema de colheres, tal como se apresenta na Figura 24.



Figura 24 - Visualização do vazamento do metal líquido depois do acerto da sua composição química.

Depois de o metal líquido ser vazado do forno de indução, o metal líquido é colocado nas colheres de transporte (Figura 25), para levar o metal no estado líquido para a linha de enchimento.

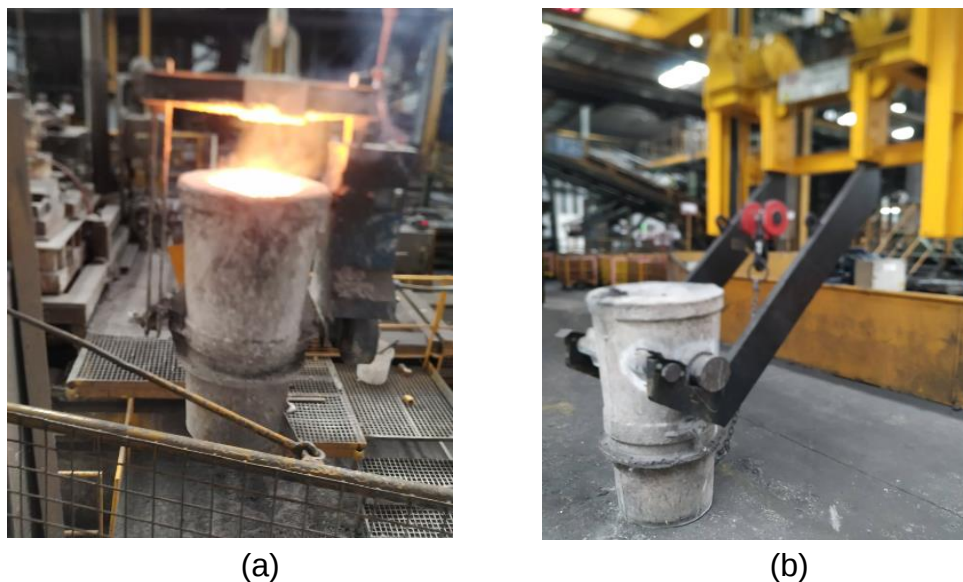


Figura 25 - Visualização da colher antiga (a) e da colher automatizada (b), responsável pelo transporte de metal líquido desde o forno de indução para a linha de enchimento.

Chegada na linha de enchimento, o metal líquido é colocado num sistema de vazamento automático (Tundish), a partir deste sistema o metal líquido é vazado nas moldações (Figura 26). Todo este processo é controlado de forma automática sendo desta forma possível saber em tempo real qual é a temperatura do metal no forno e no sistema de vazamento automático. Para além das temperaturas, também é de extrema importância saber as quantidades que existem no forno e no sistema de vazamento para garantir um fluxo constante de metal líquido na linha. Devido ao facto de todo o processo ser controlado, esses valores são apresentados em tempo real os operadores.



Figura 26 - Visualização do sistema Tundish em processo de reparação.

Após o vazamento, as moldações são transportadas até a zona de abate. Todo o sistema de movimentação das moldações é feita de forma automática (sistema Dyutec), tal como se apresenta na Figura 27. Este sistema, para além de garantir toda a movimentação das moldações, garante que as moldações chegam ao sector da granalhagem após um período de sensivelmente 1 hora e 30 minutos, o que permite que as moldações arrefeçam de forma natural até à temperatura ambiente (Dyutec, 2003).



Figura 27 - Visualização dos carrinhos de transporte das caixas, o designado Sistema Dyutec.

2.2.4 - Sector da Granalha e Rebarbação

Terminado o processo de vazamento e estabilização das peças, é necessário extrair as peças dos moldes. Os moldes são transportados para a máquina de granalha (Figura 28) que através do movimento rotativo irá projetar pequenas esferas metálicas que vão de encontro ao molde de areia com a finalidade de o destruir, obtendo-se desta forma a peça vazada e areia que irá novamente ser utilizada num novo molde.



Figura 28 - Visualização das peças à saída da máquina de granalha.

Terminada a operação de separação da peça do molde em areia é necessário, efetuar a remoção de rebarbas das peças, através de vários equipamentos consoante o tipo de peça e o acabamento necessário. As peças que são para pintura a preto (Figura 29), são encaminhadas para um sistema de pintura por imersão, onde as mesmas são pintadas com uma tinta de base aquosa, montadas e embaladas de acordo com a encomenda e colocadas na zona de expedição.



Figura 29 - Peças rebarbadas prontas para receber pintura a preto por imersão.

As que não são para pintar, são encaminhadas para a zona de armazém para posteriormente serem enviadas para a filial da Fucoli-Somepal S.A. para posterior operação de trabalho, ou então são encaminhadas para o sector da maquinação para acabamento em zonas específicas da peça.

2.2.5 - Sector da Maquinação

O sector da maquinação da Fucoli-Somepal S.A. é o sector que confere à peça a forma, dimensão e acabamento desejado, mas também é responsável pela maquinação de peças e componentes para a produção, bem como de todos os modelos das peças que são necessários para a produção dos moldes. Para isso, este sector está equipado com tornos e fresadoras CNC (Controlo Numérico e Computadorizado), por forma a garantir um produto final de grande qualidade em termos de dimensão e geometria. No que diz respeito ao acabamento das peças vazadas, é nos tornos e fresadoras de CNC que são realizadas todas as operações necessárias na finalização da peça para posteriormente serem pintadas e montadas, dando desta forma origem ao produto final (Figura 30).



Figura 30 - Visualização de um "T" onde se procedeu à maquinação por CNC das falanges de aperto.

Relativamente ao processo de produção dos modelos estes são também produzidos nos tornos e fresadoras CNC, que posteriormente são usados no sector da carpintaria ou macharia. Os materiais que são usados na produção dos modelos vão desde o bronze, passando pelo latão e aço, sendo que em casos especiais podem ser usados outros materiais. Na figura 31, apresenta-se a maquinação de um molde em madeira.



Figura 31 - Visualização da maquinagem de um molde em madeira.

2.2.6 - Sector da Montagem

É no sector da montagem que os vários componentes de alguns produtos, que foram produzidos na linha de produção da empresa são unidos, através das suas especificações técnicas, para darem origem, por exemplo, a marcos de incêndio (Figura 32), a válvulas, a braçadeiras, a juntas, a flanges ou tubos.



Figura 32 - Imagem de um marco de incêndio fabricado na Fucoli Somepal S. A.

Atendendo à política de qualidade da empresa, todas as peças montadas são sujeitas a ensaios hidráulicos e mecânicos para garantir a sua conformidade. Sendo assim, todas as montagens são submetidas ensaios de validação da resistência mecânica do conjunto e estanquicidade do mesmo.

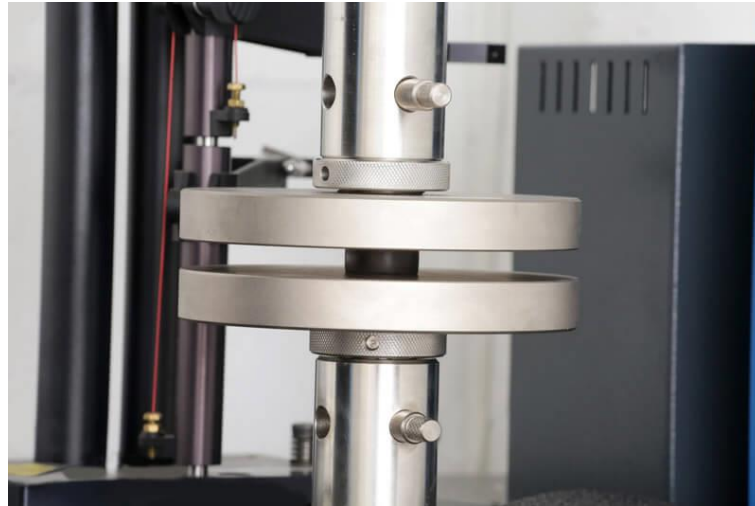


Figura 33 - Exemplo de um ensaio de compressão para determinar as propriedades de resistência à compressão, módulo de elasticidade e tensão de escoamento.

2.2.7 - Sector do Armazém

Atendendo à diversidade de peças que são produzidas na Fucoli-Somepal S.A., a mesma dispõe de um armazém onde as peças terminadas são guardadas até serem despachadas para os seus clientes (Figura 34). No entanto, existem outras peças que são levadas para locais específicos dentro do armazém, para serem montadas à posterior, devido a exigências técnicas ou até mesmo para serem levadas para a outra filial para que sejam montadas noutras peças. Neste caso, essas peças são colocadas na zona de carga.



Figura 34 - Exemplo de peças embaladas e prontas para serem enviadas para os clientes.

2.3 - Comboio Logístico

Devido à dimensão que a Fucoli-Somepal. S.A. apresenta, é necessário que todo e qualquer elemento chegue em tempo oportuno onde é necessário. Sendo assim, a Fucoli-Somepal. S.A. implementou um comboio logístico. Este comboio logístico, não é mais do que um sistema de abastecimento cíclico, formado pelo operador logístico e veículo o de transporte de material (empilhador elétrico), como se pode observar na Figura 35. O comboio logístico é responsável pela interligação das várias secções. Por exemplo, a secção de pintura dá informação ao comboio da lista de peças a transportar, para o sector de montagem consoante as suas necessidades de produção.

Outro exemplo da interação do comboio de logística é no sector da produção, pois no fim de cada produção, existe a necessidade de se proceder à troca das caixas de machos no setor da macharia. Caso essa caixa já não seja utilizada, é colocada na zona de descarga para que em momentos posteriores o comboio logístico proceda ao seu envio para o sector da carpintaria, onde a caixa será limpa e posteriormente arrumada no armazém automático.



Figura 35 - Visualização do comboio logístico da Fucoli-Somepal. S.A.

CAPÍTULO 3 - Trabalhos efetuados durante o estágio

Durante o estágio foram realizados diversos trabalhos, no entanto os mais significativos foram a análise às perdas energéticas que acontece no sector da fundição e otimização dos processos no sector da Macharia. Seguidamente apresentam-se esses trabalhos.

3.1 - Analise às perdas energéticas no sector da fundição

Na generalidade das empresas, principalmente nas grandes indústrias, os custos associados à energia são significativos, o que influencia não só os lucros da empresa, mas conduz também ao enfraquecimento da competitividade face a concorrentes globais com acesso a energia mais barata. No atual, contexto industrial a otimização dos recursos energéticos é o aspeto económico que mais sensibiliza as empresas a optar pela diminuição dos consumos energéticos, pois a gestão de energia na indústria é fundamental para diminuir o desperdício de energia e os custos que estão associados a esse desperdício. Assim, é esse conhecimento que permite a realização de uma análise detalhada do ponto de vista energético, o que, inclui o consumo de energia, por equipamento, ou por operação unitária. Deste modo, apenas pela associação dos valores do consumo de energia aos respetivos custos é possível retirar conclusões acerca do impacto, que, determinado tipo de energia ou equipamento tem na estrutura de custos da empresa (ADENE, 2021).

A Eficiência energética pode ser definida como um conjunto de ações realizadas com o objetivo de executar determinada tarefa ou processo usando menos energia. Significa isto que, é possível obter o mesmo resultado final de um processo, reduzindo o consumo de energia, através de uma ação de eficiência energética. Assim, podemos definir um processo eficiente como aquele onde as perdas são reduzidas, otimizando dessa forma o uso de energia na entrada. Deste modo, a eficiência energética deve ser uma preocupação constante de qualquer organização, uma vez que, esta permite não só um contributo positivo para o ambiente, mas também para a redução dos custos económicos.

Na Fucoli-Somepal. S.A. de todos os sectores identificados com potencial para redução do consumo e custo energético, o setor da fundição foi o que apresenta maior potencial. A necessidade de fundir materiais obriga a um consumo elevado de energia disponível. Por exemplo, para ser processada uma tonelada métrica de ferro fundido,

é necessário em média, o consumo de 944 kWh/h de energia elétrica (Amado, 2018), tal como se apresenta na Tabela 1.

Tabela 1 - Energia consumida em média em alguns processos tecnológicos (Amado, 2018).

Processo Tecnológico	Ferro Fundido	Aço
Fundição	944 kWh/T	1000 kWh/T
Tratamento Térmico	42 kWh/T	514 kWh/T
Moldação	171 kWh/T	120 kWh/T
Limpeza	128 kWh/T	171 kWh/T

Analisando a tabela anterior, é possível verificar que, para fundir aço necessitamos um pouco mais de energia, 1000 kWh/T, do que a que é necessária para fundir ferro, 944 kWh/T. No caso do tratamento térmico, o ferro fundido necessita apenas de 42 kWh por tonelada, enquanto para o aço são necessários 514 kWh por tonelada. Em relação à moldação, é o ferro fundido que despende mais energia, por outro lado, na limpeza é o aço que necessita de mais energia por tonelada. Segundo Amado, em termos de consumos de energia elétrica numa fundição (Figura 36) é possível verificar que mais de 50 % do consumo diário das empresas é realizada pelo sector da Fundição.

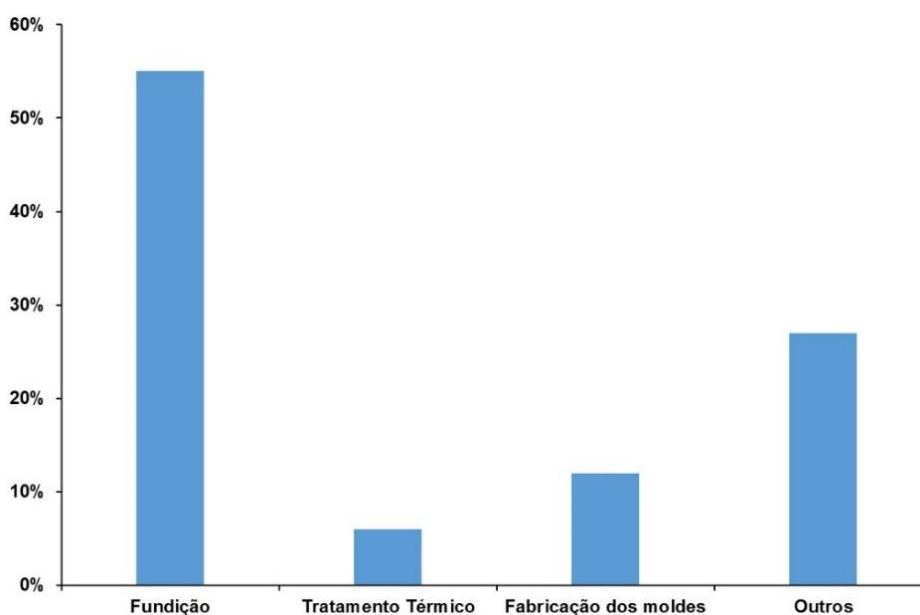


Figura 36 - Exemplo da distribuição do consumo diário de energia elétrica numa fundição (Amado, 2018).

De acordo com este consumo operacional médio, compreende-se a necessidade de efetuar o desenvolvimento de ações de melhoria para redução dos consumos energéticos uma vez que, estes representam a maior parte dos custos de unidades industriais deste tipo. Neste contexto, pretendeu-se desenvolver um conjunto de ações, suportadas por ferramentas de melhoria contínua, de forma a obter-se uma redução geral no consumo de energia elétrica e, consequentemente reduzir os custos associados.

Assim, o presente caso de estudo debruçou-se sobre a otimização dos dois fornos elétricos que a fábrica dispõe para a fundição do ferro fundido. Tal como já foi referido anteriormente o objetivo foi a redução do consumo de energia elétrica sem diminuir a produção. Ou seja, procedeu-se à melhoria do uso dos fornos elétricos, através da eficiência dos mesmos estes fornos laboram diariamente cerca de 15 horas e consequentemente, têm um elevado consumo de energia.

3.1.1 - Metodologia Utilizada

A fim de formular uma estratégia de ação, foi realizado um levantamento dos consumos energéticos. Assim, foi feito o levantamento dos consumos de anos anteriores de forma a fazer uma comparação com os consumos atuais. Deste modo, foi realizado um estudo específico aos consumos elétricos da fusão, não só para simplificar o estudo como também para perceber melhor a origem dos consumos.

Para isso dividiu-se a fusão em 5 fases, que serão explicadas seguidamente, a fim de perceber em que fase se verificavam os maiores picos de consumo e onde se poderiam baixar os mesmos. Posteriormente procedeu-se à elaboração de um diagrama de Pareto para se aferir as causas das paragens da linha de produção, pois estas são um dos grandes fatores do aumento do consumo energético.

Por último, foi realizado também um estudo relativo às cargas, para se perceber qual a melhor carga para fundir e também qual necessitava de menos energia para completar a fusão.

3.1.2 - Consumos de Energia Elétrica

A energia elétrica é a forma de energia mais utilizada na Fucoli-Somepal S.A. Esta é utilizada intensivamente nos diversos sectores de produção, no entanto, o contributo da fundição, mais propriamente dos fornos elétricos, representa cerca de 60 a 65% do consumo total de energia elétrica da fábrica (SGCIE, 2021).

Da análise do consumo de energia elétrica, durante o período do estágio, mais concretamente entre os meses de novembro e julho de 2021, resultaram as informações respeitantes aos consumos mensais, cuja evolução mensal é representada na figura 37.

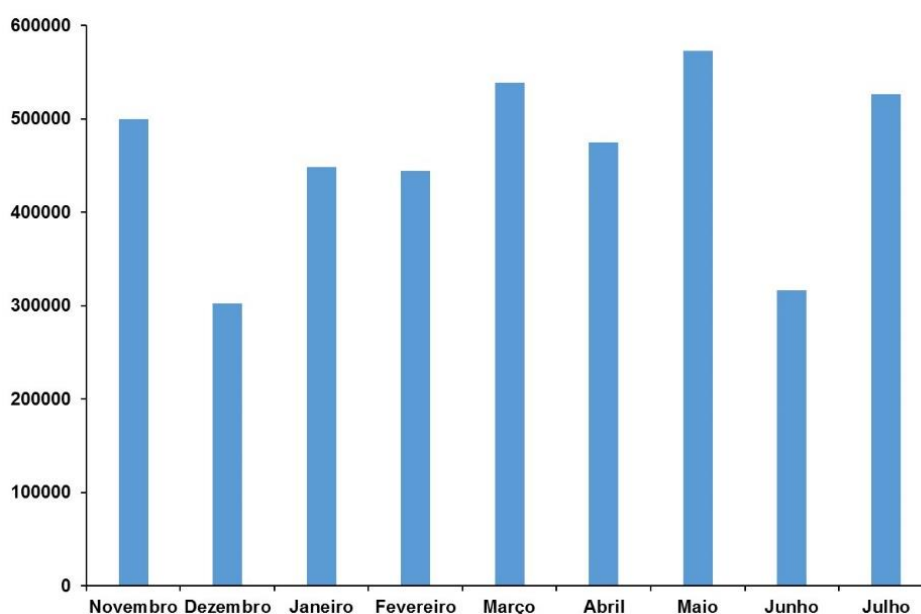


Figura 37 - Evolução mensal do consumo de a energia elétrica Fucoli-Somepal S.A. em kWh durante os meses de estágio.

O consumo de energia elétrica está repartido entre energia elétrica ativa e energia elétrica reativa, a maior fatia desse corresponde à energia elétrica ativa, cerca de 99% do consumo, ficando o restante associado à energia elétrica reativa. A instalação tem um período tetra-horário contratado de fornecimento que consiste em consumo de energia em Horas de Ponta (HP), Horas Cheias (HC), Horas de Vazio (HV) e Horas de Super Vazio (HSV).

Como exemplo, na figura 38 apresenta-se o consumo de energia ativa pelos períodos horários referidos anteriormente, que ocorreram no dia 1 de março de 2021. Da análise da figura é possível verificar que as horas cheias representam cerca de 51% do consumo de energia ativa desse dia. Os restantes 49% são divididos quase de forma equitativa pelos restantes períodos de energia contratada.

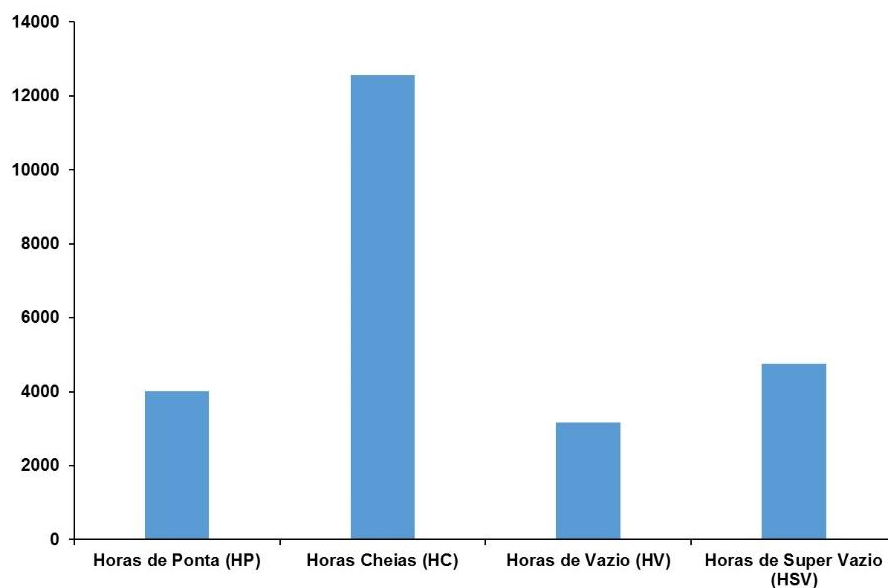


Figura 38 - Distribuição do consumo de energia elétrica ativa por período horário em kWh que ocorreu durante um dia de trabalho no mês de março de 2021.

Assim, como se pode observar na Tabela 2 e Tabela 3, as distribuições dos ciclos de energia têm horários diferentes durante a semana e ao fim-de-semana.

Tabela 2 - Distribuição consumo de energia elétrica ativa em ciclos e por período horário de segunda a sexta-feira.

Horário semanal de segunda-feira a sexta-feira			
Horas Cheias (HC)	00:00 – 00:30	07:30 – 14:00	17:00 – 24:00
Horas de Ponta (HP)	14:00 – 17:00		
Horas de Super Vazio (HSV)	02:00 – 06:00		
Horas de Vazio (HV)	00:30 – 02:00	06:00 – 07:30	

Tabela 3 - Distribuição consumo de energia elétrica ativa em ciclos e por período horário durante o fim-de-semana.

Horário semanal durante o fim-de-semana				
Horas Cheias (HC)	10:00 – 13:30	19:30 – 23:00		
Horas de Ponta (HP)				
Horas de Super Vazio (HSV)	03:30 – 07:30			
Horas de Vazio (HV)	00:00 – 03:30	07:30 – 10:00	13:30 – 19:30	23:00 – 24:00

Através da análise da Figura 38, da Tabela 2 e da Tabela 3 é possível verificar que, o perfil energético registado é coincidente com o horário laboral da empresa, mais propriamente o horário da fundição, que labora de terça-feira a sábado com dois turnos. Ou seja, o primeiro forno começa a funcionar às 03:00 horas e o segundo as 04:30 horas. Assim, e depois de se iniciar o processo de fundição, o primeiro vazamento ocorre por volta das 05:00 horas e o último vazamento ocorre por volta das 18:00 horas, ou seja, os fornos estão maioritariamente a trabalhar durante o período de Horas Cheias (HC).

Os preços da eletricidade variam em função dos períodos horários e no caso do período tetra-horário contratado da empresa, o consumo de energia nas Horas Cheias (HC) cada kWh custa aproximadamente 10,4 cêntimos, nas Horas de Vazio (HV) cada kWh custa 6,9 cêntimos, nas Horas de Ponta (HP) cada kWh custa aproximadamente 9,8 cêntimos e por fim nas Horas de Super Vazio (HSV) cada kWh custa aproximadamente 6,5 cêntimos. Na Tabela 4, apresentam-se os custos da energia ativa do dia 1 de março de 2021, como exemplo

Tabela 4 - Custos da energia ativa para o dia 1 de março de 2021 em função período tetra-horário contratado da empresa.

	Consumo [kWh]	Custo unitário [€]	Total [€]
Horas Cheias (HC)	12559	0.104	1306,14 €
Horas de Ponta (HP)	4020	0.098	393,96 €
Horas de Super Vazio (HSV)	4759	0.065	309,34 €
Horas de Vazio (HV)	3177	0.069	219,21 €
Total			2228,64 €

Analisando a tabela anterior é possível verificar que os, os maiores consumos ocorrem durante as Horas Cheias (HC), ou seja, entre as 7:45 horas e as 14 horas e que esse consumo representou um custo de aproximadamente 1300 €, ou seja vai dar 56,5% do custo diário com a energia no sector da fundição.

Analisando o restante período horário laboral, também existe algum consumo, mas este é substancialmente inferior em virtude de o custo unitário da energia nesses períodos ser relativamente mais baixo que o anterior. Sendo assim e tomando como referência o dia 1 de março de 2021, pode-se dizer que o custo total de energia gasto da fundição é de aproximadamente 2200 euros por dia de trabalho efetivo. O que é um valor extremamente elevado e que é necessário tentar minimizar ao máximo.

Na Figura 39 Figura 39 - Energia consumida por cada tonelada de ferro produzido durante o ano de 2020 e 2021.apresenta-se a comparação entre os anos de 2020 e 2021 para o consumo energético por tonelada de ferro produzido.

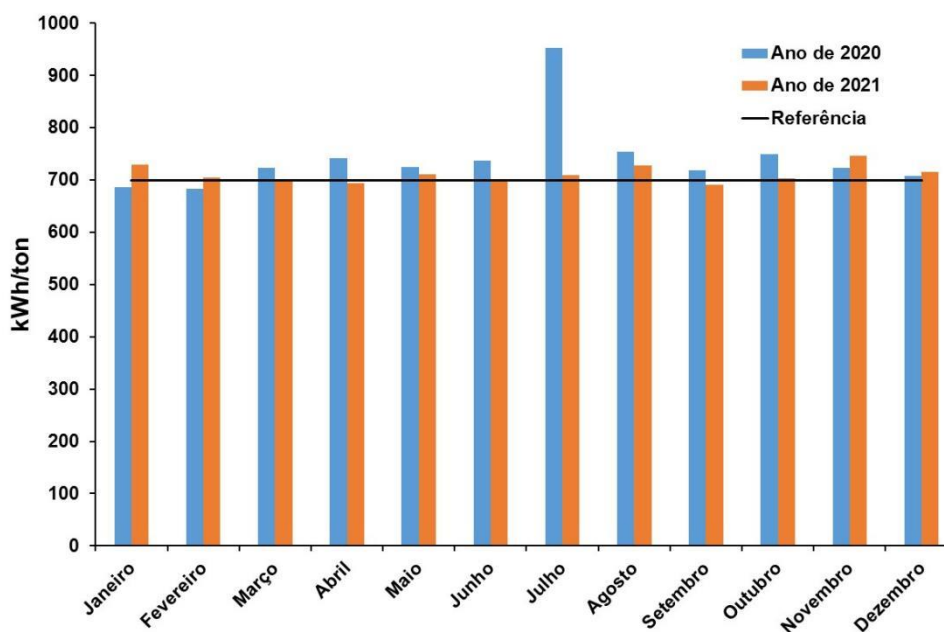


Figura 39 - Energia consumida por cada tonelada de ferro produzido durante o ano de 2020 e 2021.

Analisando a figura 39, verifica-se que no ano de 2020 o consumo mensal de energia foi sempre superior ao valor de referência, à exceção dos meses de janeiro e fevereiro. Ainda relativamente a esse ano o mês de julho foi o mês onde ocorreu o maior consumo energético, devido a muitas paragens da linha de produção nomeadamente no sistema Dyutec com algumas avarias o que origina consumos mais elevados nos fornos de modo que mantenham o banho de ferro a temperatura ideal de vazamento e também muitas trocas de moldes que provoca também paragens na linha de produção.

Ao comparar-se os anos de 2020 com o de 2021, verifica-se que houve sempre uma redução dos consumos entre 10% - 20%, com exceção de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro. Uma explicação para essas reduções foi com alguns ajustes que tiveram de ser realizados na linha de fundição, nomeadamente, pela introdução de um novo sistema operativo para controlo dos fornos e vazamento e mais tarde, pela instalação de uma nova Tundish (anteriormente era necessário um trabalhador para manusear as colheres com o ferro, enquanto agora é apenas necessário premir um botão e as colheres automatizadas enchem e colocam o ferro na Tundish).

Na figura 40, apresenta-se a imagem desse novo sistema operativo onde é possível verificar que são apresentados alguns parâmetros da fusão, nomeadamente qual a

temperatura do ferro fundido, qual a quantidade de ferro existente no forno, qual a energia que está a ser solicitada ao forno e qual a energia que já foi utilizada na fusão (INDUCTOTHERMGROP, 2021).



Figura 40 - Visualização do novo sistema operativo de controlo dos fornos, com informação sobre alguns parâmetros da fusão.

3.1.3 - Consumos Energéticos na Fusão

Para se conseguir calcular os consumos energéticos da fusão é necessário primeiramente referir que o processo de fusão esta dividida em cinco fases. A primeira fase é o do início da fusão, onde o forno deve chegar até à temperatura de 1410°C. Após se obter essa temperatura, os fornos passam automaticamente para a fase de manutenção (segunda fase). Nesta fase é retirada a primeira amostra do ferro fundido, e verifica-se quais os constituintes que existem no banho de fusão. Esta análise aos constituintes tem como finalidade perceber se é preciso adicionar aditivos ou se o ferro

fundido se encontra dentro dos parâmetros desejados. Seguidamente ocorre a terceira fase, ou seja, fase de fusão onde se volta a elevar a potência ao forno, até este chegar à temperatura de 1530°C. Esta temperatura, é a temperatura desejada para que se proceda ao vazamento do ferro fundido, sendo que após o forno atingir essa temperatura, ele volta novamente a entrar em fase de manutenção (quarta fase). É nesta fase que se verifica se o ferro fundido cumpre todos os parâmetros necessários para a linha de produção. Assim, caso esteja tudo em conformidade, tem início a quinta e última fase de fusão, que se verifica com o vazamento do metal líquido em moldes de areia que, após solidificação, passa por um processo de arrefecimento no interior do molde, desmoldagem e acabamento, antes de se tornar o produto final.

O processo de seleção de matérias-primas é de extrema importância para a otimização dos consumos energéticos, pois, existem vários tipos de matérias-primas que se podem utilizar na fundição, como é o caso de lingotes, retornos aditivos e sucata de aço. Os materiais que a Fucoli-Somepal. S.A. mais utiliza no seu processo de fundição são as sucatas de aço. Estas sucatas de aço são os desperdícios que resultam de processos tais como o Oxicorte. Para além dessas sucatas de aço também são usados fardos com e sem zinco, tiras de aço, garrafas de gás e sucatas nodulares. As matérias-primas são armazenadas em tulhas, sendo extraídas das mesmas com recurso a eletroímãs que se encontram associados a um sistema de pesagem. O operador que se encontra a preparar as cargas do forno (Figura 41), de acordo com as instruções definidas deve seguir uma norma para a adição de cada elemento.



Figura 41 - Vagonete com carregamento de sucata e pronta para ser adicionada ao processo de fusão.

A sucata de aço representa a maior percentagem da carga, existindo determinadas condições essenciais para a sua utilização como sendo por exemplo o conhecimento da sua origem, a sua composição química, a inexistência ou não de óxidos, entre outros. Os retornos de fundição são os gitos, e todas as peças defeituosas produzidas na fundição que também entram nesta fusão. Para além da sucata que é adicionada à fusão, existem várias adições (Figura 42) que se podem colocar no forno quando a fusão precisa de ajustes, como é o caso do ferro-silício (Fe-Si), ferro manganês (Fe-Mn), carboneto de silício (SiC) e grafite. No caso da grafite, esta é utilizada quando os níveis de carbono se situam abaixo de 3,8%, pois os valores pretendidos de carbono variam entre 3,8% e 3,9%. Por outro lado, quando os valores do carbono se encontram acima dos 3,9% são introduzidos fardos de ferro de modo a baixar este valor para os níveis desejados.

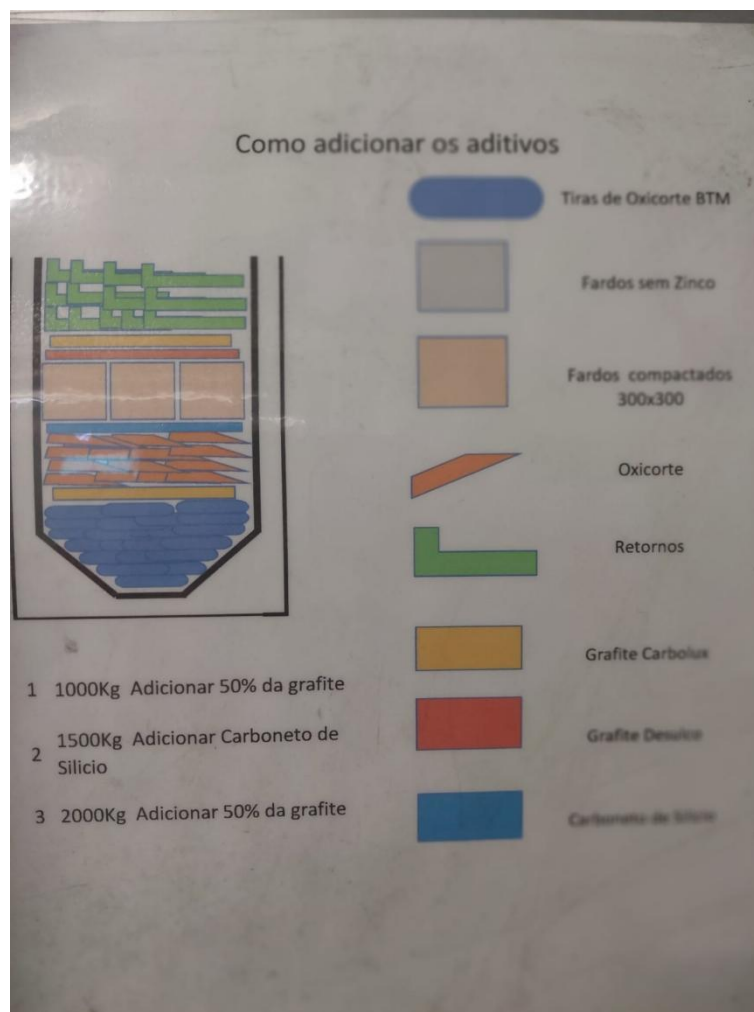


Figura 42 - Exemplo dos aditivos que são adicionados à fusão.

Normalmente, numa fusão com cerca de 4 toneladas, esta é constituída por 600 kg de sucata oriunda do processo de Oxicorte, 900 kg de fardos compactados, 1000 kg de tiras de Oxicorte com baixo teor de manganês e 1400 kg de retornos. Além disso, esta deverá incluir ainda aditivos, como 80 kg de grafite carbolux, 10 kg de grafite deslucio e 45 kg de carboneto de silício. Como este tipo de norma, os elementos que são produzidos na empresa são designados de elementos em ferro fundido nodular. Os ferros fundidos são uma família de ligas ferrosas com uma larga gama de propriedades, contrariamente aos aços que contêm normalmente teores de carbono inferiores a 1%, os ferros fundidos têm geralmente percentagens de carbono entre 2 e 4% de carbono e de silício entre 1 a 3%.

Para analisar o consumo energético na fusão escolheu-se o mês de março pois, este foi o mês onde se obtiveram os melhores resultados. O objetivo pretendido era o de

melhorar o consumo energético, fazendo com que a energia consumida por tonelada de ferro fundido fosse na ordem dos 700 kWh.

Como já foi referido anteriormente, a fase onde se gasta mais energia, é na fase da fusão. É nesta fase que é necessário aumentar potência dos fornos ao máximo, para converter o ferro sólido e líquido. O forno a trabalhar a 100% da sua potência gasta, em média 2600 kWh. Na primeira fase o forno demora aproximadamente 1 hora a chegar à temperatura de manutenção, ou seja, 1410°C, enquanto na terceira fase o processo é mais rápido, pois demora apenas cerca de 10 minutos, a atingir a temperatura de vazamento, 1530°C.

No mês do estudo, em média, concluíram-se entre 8 e 10 fusões completas por dia, sendo que, em cada fusão se fundem cerca de 4 toneladas de ferro. As Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7, indicam quais os valores do consumo de energia e o tempo de cada fusão verificado no mês de março (23 dias de trabalho), assim como o ferro produzido.

Tabela 5 - Apresentação do tempo total de fusão, da energia consumida e da quantidade de ferro produzido diariamente ao longo do mês de Março de 2021

Dia	Total de minutos em fusão	Energia consumida [kWh]	Ferro produzido [kg]	Energia cons. por ton. Fabricada [kWh]
1	709	18317	31170	587,6
2	674	17575	29570	594,4
3	753	19592	32430	604,1
4	796	20981	35480	591,3
5	808	20792	35690	582,6
6	844	19482	33690	578,3
7	772	19979	33800	591,1
8	892	24883	42440	586,3
9	728	19668	33620	585,0
10	760	19955	32880	606,9
11	741	17089	30200	565,9
12	782	18513	32200	574,9
13	845	22073	37170	593,8
14	795	19931	33760	590,4
15	803	20931	35010	597,9
16	855	17357	30150	575,7
17	866	21909	35610	615,2
18	802	22185	35450	625,8
19	978	24781	41790	593,0
20	762	19640	32820	598,4
21	827	22989	38030	604,5
22	761	19679	33340	590,3
23	822	21814	37070	588,5

Tabela 6 - Apresentação dos minutos de manutenção e de energia consumida durante a fase de manutenção do forno ao longo do mês de março de 2021.

Dia	Total de minutos em manutenção	Energia consumida [kWh]	Energia cons. por ton. Fabricada [kWh]
1	396	1232	39,5
2	315	1382	46,7
3	278	1004	31,0
4	267	1475	41,6
5	224	1220	34,2
6	219	845	25,1
7	228	654	19,3
8	206	943	22,2
9	271	1181	35,1
10	341	952	29,0
11	244	1621	53,7
12	299	1145	35,6
13	245	1410	37,9
14	270	1417	42,0
15	270	1133	32,4
16	440	2258	74,9
17	230	1092	30,7
18	244	1398	39,4
19	231	1067	25,5
20	240	1523	46,4
21	201	885	23,3
22	239	1259	37,8
23	182	963	26,0

Tabela 7 - Apresentação dos minutos de manutenção e de energia consumida durante a fase de vazamento do forno ao longo do mês de março de 2021.

Dia	Total de minutos em vazamento	Energia consumida [kWh]	Energia cons. por ton. Fabricada [kWh]
1	603	1995	64,0
2	621	1805	61,0
3	753	1561	48,1
4	698	1458	41,1
5	692	1967	55,1
6	626	1816	53,9
7	754	1530	45,3
8	687	1863	43,9
9	697	1652	49,1
10	711	1764	53,6
11	720	1784	59,1
12	682	2226	69,1
13	667	1800	48,4
14	629	2083	61,7
15	639	1431	40,9
16	663	1715	56,9
17	661	1550	43,5
18	657	1469	41,4
19	671	1749	41,9
20	670	1502	45,8
21	672	1897	49,9
22	649	1991	59,7
23	659	2354	63,5

Analisando os valores anteriores verifica-se que durante o mês de março de 2021, a energia consumida por tonelada de ferro fundido foi sempre inferior aos 700 kWh, tal como se apresenta na figura 43.

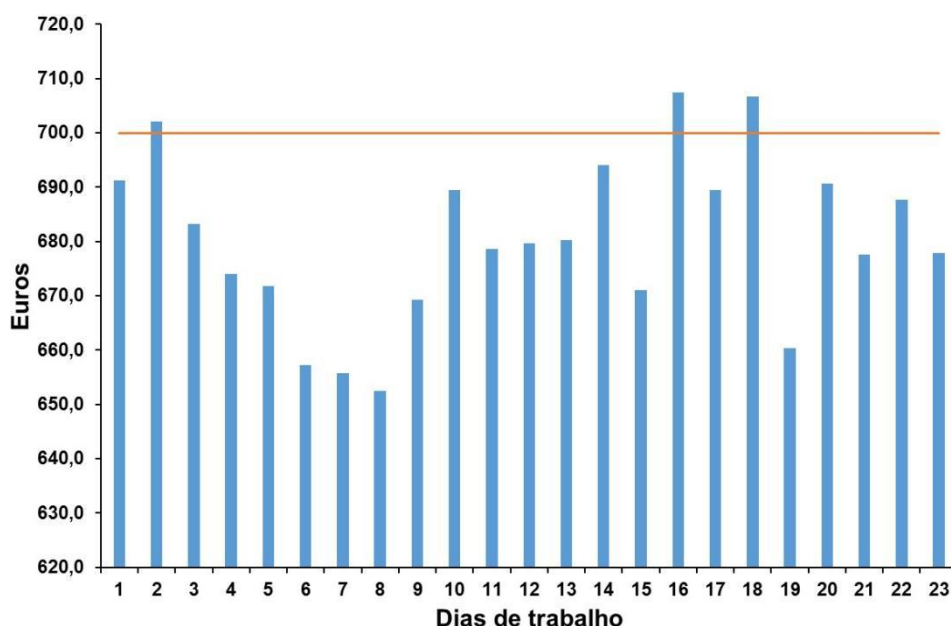


Figura 43 - Representação dos custos de energia consumida por tonelada de ferro fundido para o mês de março da 2021.

É de fácil compreensão que, a fase de maior consumo é efetivamente a fase da fusão, mas nessa fase, pouco se poderá fazer para baixar os consumos. Logo esse esforço terá de ser realizado nas outras fases, ou seja, a fase de manutenção e a de vazamento.

É na fase de manutenção que se pode economizar energia, no entanto, é importa referir que, caso haja paragens na linha de produção é extremamente difícil baixar os consumos dos fornos, na fase de manutenção. Mas caso não existam paragens na linha de produção é possível baixar a energia despendida, na ordem dos 1000 kWh, tal como se pode constatar pela análise da Tabela 6.

Por outro lado, também a energia gasta durante a fase de vazamento varia entre os 1000 a 2000 kWh. Mas, tal como sucede na fase de manutenção, estes valores apenas só se poderão verificar caso não existam muitas paragens na linha de produção, sendo que estas paragens advêm muitas das vezes de moldações deterioradas que seguem na linha de produção.

3.1.4 - Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto é um gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências, da maior para a menor, permitindo a priorização dos problemas, assim,

a sua maior utilidade é a de permitir uma fácil visualização e identificação das causas ou problemas mais frequentes, possibilitando a concentração de esforços sobre a resolução dos mesmos. Tendo mais uma vez em análise em relação aos meses de estudo, onde se registaram os tempos de paragens que a linha de produção sofreu, verificou-se que a linha de produção esteve parada 28624 minutos. Na Tabela 8, apresenta-se os tempos de paragem da linha de produção em função do tipo de problema detetado.

Tabela 8 - Apresentação dos minutos de paragem que a linha de produção teve ao longo do mês de março de 2021.

Paragens da linha de produção	Tempo [minutos]
Máquina de Moldar	10932
Sistema Dyutec	5000
Falta de Ferro no Forno	4016
Sistemas de Areias	2928
Tundish	2626
Caixas Sujas	2146
Vazamento	976
Total	28624

Calculando o gráfico de Pareto para estas ocorrências (Figura 44) pode-se verificar que cerca de 80% do tempo de paragens da linha de produção advém de problemas na máquina de moldar (pois é aqui que se trocam as placas molde), do sistema Dyutec, (ou seja, problemas na máquina de desmoldar automática e os carrinhos que se deviam movimentar na linha não avançam), falta de ferro no forno e no sistema de areias.

Esta análise vem por si corroborar o que foi referido anteriormente, ou seja não se consegue reduzir o consumo de energia na fase de fusão, mas sim na fase de manutenção ou na fase de vazamento. É possível verificar que a maior percentagem de tempo de paragens que ocorreram durante o mês de março, adveio de problemas na máquina de moldar, o que faz com o consumo na fase de manutenção possa ser elevado.

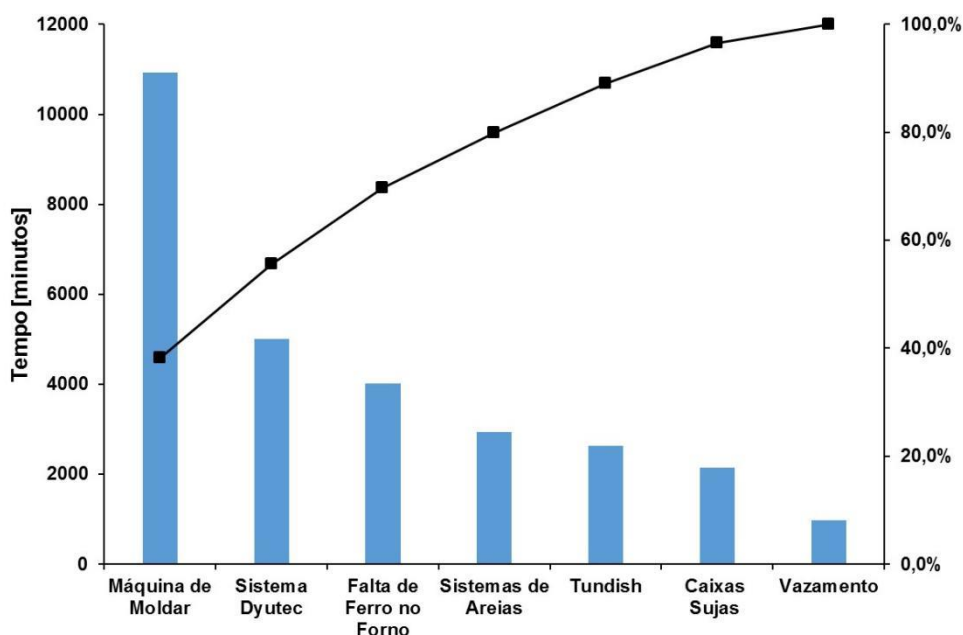


Figura 44 - Diagrama de Pareto dos meses de estudo.

3.2 - Alterações dos processos no sector da Macharia

A secção da Macharia surge no processo produtivo como fornecedor de machos para a Fundição, tal como já foi referido anteriormente. A produção de machos é um processo de obtenção de aglomerados de areia e resina que servem de molde (macho) dando formato às cavidades internas e reentrâncias externas da peça fundida, garantindo a geometria e tolerâncias específicas do produto.

Para a produção de machos a empresa detém neste sector de quatro máquinas (uma BICOR 3100, duas BICOR 3200 e uma BICOR 3300) destinadas à produção de machos. Estas máquinas são muito semelhantes entre si, diferindo apenas no tamanho e na capacidade de produzir machos de grandes e pequenas dimensões. Por exemplo, é na BICOR 3300 que produz os machos grandes e na BICOR 3100 que são produzidos os machos de pequenas dimensões.

O processo utilizado para produção dos machos é designado por caixa fria, também conhecido como “Cold Box”, ou seja, a areia é misturada com resinas e após inserção na caixa de macho é endurecida através de lavagem com um catalisador que acelera a reação das resinas. As principais matérias-primas deste processo são a areia e os aglomerados químicos (resinas). No topo das máquinas, existem misturadores onde é efetuada a mistura da areia com as resinas originando o que se designa por areia

aglomerada, sendo esta descarregada para um funil que alimenta o doseador da máquina. A areia aglomerada é então depositada no interior da caixa de machos e o posterior endurecimento do macho é efetuado pelo gás da amina (agente de cura), dentro da caixa e à temperatura ambiente. Seguidamente, é efetuada a passagem de ar seco para a realização da lavagem do macho, ficando este em condições de ser desmoldado.

Após a extração dos machos das respetivas caixas, procede-se ao seu acabamento final sendo limadas as rebarbas, corrigidos eventuais defeitos e pintados, quando necessário. A operação de pintura permite uma melhoria no acabamento superficial das peças fundidas.

Os machos, após as operações de acabamento são devidamente identificados, contados e acondicionados em tabuleiros ou armários, mediante as suas dimensões. É nesta fase que é realizado um controlo visual da qualidade dos machos sendo que, as caixas de machos são devidamente arrumadas em local identificado, por ordem numérica e de forma sequencial.

3.2.1 - Lançamento dos machos no sistema produtivo

Anteriormente o lançamento de machos produzidos era apenas efetuado no final do dia ou até no dia seguinte, através da folha de produção preenchida por cada operador. Deste modo verificou-se que existiam erros de *stock* pois por vezes, existia a necessidade imediata de machos na linha para a produção e esses machos por vezes não estavam lançados no sistema. Esse erro poderia advir ou do registo incorreto do colaborador a preencher a folha de produção ou até mesmo pelo facto de esse preenchimento só ter sido realizado no dia seguinte, apesar de existir esse macho em *stock*. Ou seja, o procedimento que estava implementado originava erros de *stock*.

Durante o estágio implementou-se um novo método de lançamento de machos no sistema, ou seja, assim que os machos são produzidos e devidamente acabados são colocados na linha de saída e são acompanhados através dos talões de produção. O engenheiro encarregue do setor lança imediatamente esses machos no sistema e assim evita erros de *stock*.

Na Figura 45, apresentam-se os novos talões de produção onde é possível verificar qual o estado da caixa de machos, ou seja, se a caixa esta em produção (P), em reparação (R) ou inativa (I). Pode-se ainda saber qual a máquina onde foi produzido

estes machos, a mistura a colocar na máquina, assim como a quantidade e a descrição do macho. A colocação de machos na linha de produção é também um processo importante para o resultado final, pois caso os machos não sejam colocados na linha de produção com todos os cuidados, a probabilidade de ocorrerem paragens aquando da fase de vazamento de ferro fundido é grande.

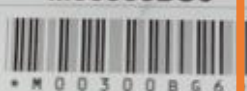
TEMPO DISPARO	PRESSÃO DISPARO	TEMPO LAVAGEM	TEMPO GASAGEM
20.00	2.50	70.00	20.00
STOCK 8	Peso Macho Talao	CAIXA DE MACHOS PARA PRODUÇÃO CM0300	
		 * C M 0 3 0 0 *	
de Chapa Molde: 00138		MAQUINA	
po Carro: cpb	CARRO PALETE BAIXO	Bicor 3300 (GR)	
ata Planeamento: 18-03-2022	QUANTIDADE A PRODUZIR	DISPAROS	QUANTIDADE POR CARRO
	7	 * 7 *	7
	M003000 G6	MACHO TE PARA FL MOVEL 125X125 (CORPO)	
 * M 0 0 3 0 0 0 G 6 *			
DATA DE PRODUÇÃO	NP / IDENTIFICAÇÃO DO FUNCIONÁRIO	Qtd PD	CARRO NP
17/3/22	[Assinatura]	1	1 / 1
Data Impressão	Total Disparos	TALÃO Nº 5 / 20	
17/3/22	7		

Figura 45 - Exemplo de um talão de produção, onde consta o estado da caixa de machos, equipamento onde foi produzido o macho, quantidade e designação do macho.

3.2.2 - Melhoria da mistura dos machos

Perante a análise da maior parte das misturas existentes nas máquinas, verificou-se que muitas delas não estavam de acordo com os parâmetros aconselhados, ou seja, muitas das misturas tinham a caudal de amina exagerado. Por exemplo, o caudal aconselhado seria entre 2 e 10 gr/s de amina e muitas delas tinham valores exagerados na ordem dos 20, 30 ou até 50 gr/s. Isto é um problema para o operador da máquina pois, com caudais de amina tão elevados, o macho quando sai da máquina de produção ainda vem com muito cheiro a amina. Estes valores de caudais de amina eram utilizados antigamente, de forma a diminuir o tempo de produção de cada macho. Ou seja, com os caudais de amina mais elevados logo o tempo de lavagem não precisa de ser elevado para a secagem da peça. Por exemplo, uma peça grande com o caudal de 30 gr/s de amina necessita apenas de 20 segundos de

secagem. Caso esse caudal de amina seja inferior, na ordem dos 5 aos 10 gr/s para o tempo de lavagem já tem de ser mais elevado, na ordem dos 60 segundos, aumento de 300%.

Para além do que foi referido anteriormente, também no aperto das morsas (painéis que apertam as caixas para a produção) e nas pressões usados no doseador também se detetaram problemas. Relativamente ao aperto das morsas, verificou-se que no caso das caixas de machos que tiveram de ser retificadas e devido à alteração nas suas dimensões e pelo facto de não se ter em consideração essas alterações aquando da elaboração das misturas, o resultado final seria ou de não se conseguir fechar a caixa de forma conveniente ou até mesmo danificar a caixa para o caso de elas sejam de madeira.

No que diz respeito às pressões usadas no doseador, verificou-se que quando se utilizava em algumas misturas uma pressão de disparo superior a 3 bar, as caixas de machos tinham tendência a abrir e não se enchia convenientemente a caixa de machos. Noutros casos a areia saía pelas extremidades da caixa, o que originava que o macho fosse produzido com defeitos e não era possível recuperar, sendo o seu destino a destruição. Atendendo que todo o processo de enchimento é realizado de forma automático, tal como se apresenta na Figura 46, houve a necessidade de se elaborar uma base de dados com correções aos valores de pressão em função da dimensão da caixa.

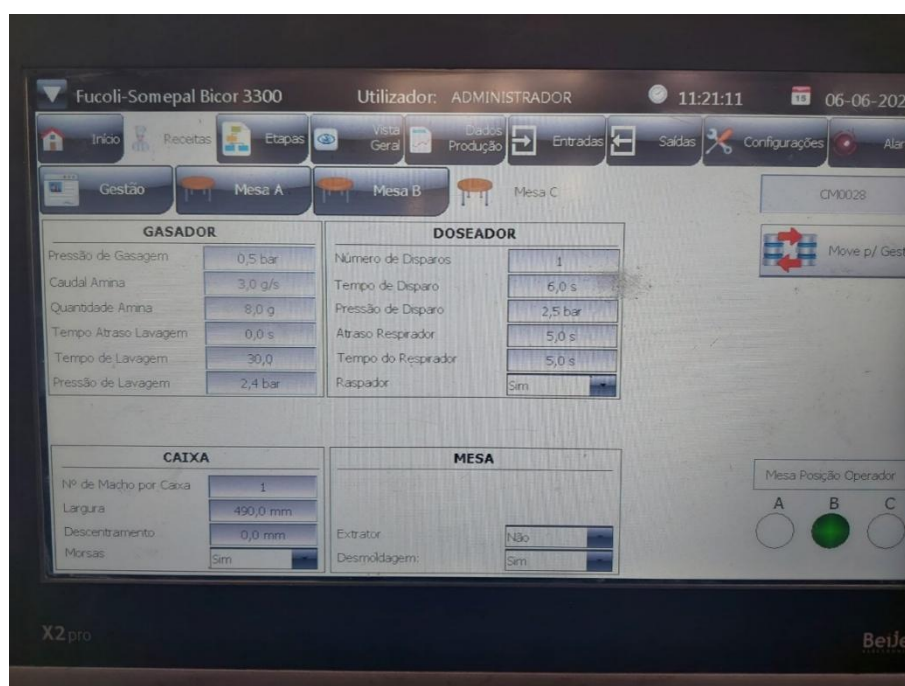


Figura 46 - Ecrã da máquina com a respetiva mistura

3.2.3 - Verificação da eficiência global dos equipamentos de machos

Durante o estágio, foi realizada a verificação da eficiência global dos equipamentos de machos que existem na Fucoli-Somepal S.A. A eficiência global do equipamento, ou Overall Equipment Effectiveness (OEE) é um termo criado em 1960 por Seiichi Nakajima, que avalia a eficiência com que uma operação de fabrico é utilizada. O seu objetivo é o de monitorizar o desempenho de linhas de produção, com métricas bem definidas e que permita facilmente comparar diferentes linhas, verificando a evolução das mesmas ao longo do tempo. Para isso, faz uma comparação entre o desempenho real e o seu desempenho ideal, onde o rácio entre os dois indica a percentagem de OEE. (Accept, 2021). Segundo Pinto (2016), a eficiência global do equipamento pode calculado multiplicando o rácio de três parâmetros que são (Ahuja & Khamba, 2008):

- Disponibilidade - relaciona o tempo total disponível para produção com o tempo efetivo de produção do equipamento. O tempo efetivo de produção tem em conta as perdas por paragem devido a avaria e tempos de *set-up*;

$$disponibilidade = \frac{\text{tempo disponível} - \text{tempo de paragem}}{\text{tempo disponível}} \quad (1)$$

- Desempenho - relaciona a quantidade produzida com a quantidade que o equipamento deveria ter produzido;

$$desempenho = \frac{\text{tempo de ciclo ideal} \times \text{unidades produzidas}}{\text{tempo de operação}} \quad (2)$$

Ou

$$desempenho = \frac{\text{unidades produzidas}}{\text{unidades esperadas}} \quad (3)$$

- Qualidade – o índice de qualidade relaciona o número de unidades produzidas com aquelas que cumprem os *standards* de normalização. As perdas contabilizadas são as perdas por defeito e retrabalho e as perdas de arranque do equipamento.

$$qualidade = \frac{\text{unidades produzidas} - \text{unidades defeituosas}}{\text{unidades produzidas}} \quad (4)$$

Desta forma, o valor de OEE pode ser calculado através da fórmula seguinte.

$$OEE = disponibilidade \times desempenho \times qualidade \quad (5)$$

Um OEE que apresente um valor de 100% traduz uma produção perfeita na medida em que, não sofre perdas em nenhum dos três rácios avaliados. No entanto, este valor de OEE é impossível alcançar. Segundo Nakajima (1988), os valores ideais para os três parâmetros devem estar de acordo com os apresentados na tabela 9.

Tabela 9 - Tabela indicadora dos valores de referência do OEE, adaptado de (Nakajima, 1988).

Parâmetro	Valor de Referência
Disponibilidade	90%
Desempenho	95%
Qualidade	99.9%
OEE	85%

Através da análise da tabela anterior e segundo Nakajima (1988), o valor ideal do OEE deve ser igual ou superior a 85%. Contudo, os resultados podem ser divididos em 4 grandes grupos, tal como se apresentam de seguida:

- **OEE <65%** - revela uma empresa pouco competitiva, com baixo lucro ou até mesmo perdas monetárias significativas, pelo que se deve intervir rapidamente;
- **OEE entre 65% e 75%** - se estes valores forem acompanhados de uma tendência crescente dos parâmetros OEE, onde as perdas estão a ser minimizadas, embora a empresa deva continuar sob vigia, já é considerada eficiente;
- **OEE entre 75% e 85%** - estes valores sugerem que o desempenho está devidamente controlado, tendo como objetivo atingir os valores mundiais de referência;
- **OEE >85%** - valores mundiais de referência que qualquer organização deve almejar atingir. Neste intervalo as perdas são mínimas exibindo um desempenho otimizado.

Se formos calcular o valor de OEE por exemplo para a máquina da macharia BICOR 3200-04 e tendo como base os seguintes elementos que se apresentam na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores da máquina da macharia BICOR 3200-04, para cálculo do valor de OEE.

Parâmetro	Valores
Tempo disponível	7 horas e 30 minutos
Tempo de paragem	30 minutos
Unidades Produzidas	1528
Unidades Defeituosas	12
Unidades Esperadas	2000

Com base nas equações anteriores, o valor de OEE é de:

$$disponibilidade = \frac{7,5 - 0,5}{7,5} = 93,3\%$$

$$desempenho = \frac{1528}{2000} = 77\%$$

$$qualidade = \frac{1528 - 12}{1528} = 99,2\%$$

Então calculando estes três parâmetros de acordo com a fórmula acima mencionada chegamos a um OEE de 71%, que segundo Nakajima o valor do OEE fica um pouco abaixo dos 85% ideais, no entanto as perdas estão a ser minimizadas e a empresa já é considerada eficiente.

3.2.4 - Melhoria da acessibilidade e organização do sector da macharia

O local que estava definido para os carros com caixas usadas no final de produção era numa localização do sector da macharia que dificultava a entrada dos camiões. Verificando-se esse problema, foi proposto que as localizações dos carros com as caixas usadas no final da produção passassem para uma nova localização de forma a facilitar não só os camiões, como os empilhadores. Para além desta alteração também se procedeu à alteração na forma de identificar as caixas usadas no final de produção, passou-se a colocar a folha de produção dentro da caixa de forma a saber mais facilmente, que caixas já tinham acabado a produção.

Outra alteração efetuada foi a atualização dos manuais, onde foram substituídos os *dossiers*, que foram colocados num local mais protegido da sujidade e procedeu-se a uma atualização dos planos de controlo dos equipamentos que, ou estavam desatualizados ou estavam danificados.

Outra melhoria que foi implementada no sector da macharia compreendeu com os planos de limpeza do sector e os planos de limpeza dos equipamentos. Verificou-se que os utensílios de limpeza estavam fora do local próprio para o efeito e em alguns equipamentos detetou-se mesmo a falta de alguns desses utensílios. Sendo assim, procedeu à elaboração de um plano de verificação de utensílios de limpeza e registo dos mesmos.

Verificou-se que o stock de machos (Kanban) no armazém de machos não estava a funcionar corretamente, pois eram encontrados carros com cestos totalmente vazios e sem as respetivas etiquetas de identificação do Kanban no carro. Para além disso, alguns carros com machos estavam colocados além das marcações no solo originando a obstrução das vias de circulação que estão marcadas no chão do sector da macharia. Procedeu-se à atualização do Kanban e implementou-se um normativo na organização dos carros.

Outra melhoria que foi implementada durante o estágio foi a identificação dos contentores de recolha de resíduos, assim como os produtos e substâncias químicas. Passou-se a adotar um sistema onde todos esses elementos estão devidamente armazenados com bacia de retenção e identificados.

Outra das melhorias implementadas foi nos próprios equipamentos da macharia. Procedeu-se a atualizações no plano da manutenção preventiva de forma a reduzir as constantes avarias que ocorriam, sejam elas por falta de manutenção ou por mau uso do operador. No seguimento da atualização do plano de manutenção verificou-se que era de especial importância para os equipamentos a verificação dos níveis de óleo com informação visual para o operador. Sendo assim, colocaram-se etiquetas nos

níveis de óleo das máquinas para ajudar na manutenção das mesmas, tal como se apresenta na figura 47.

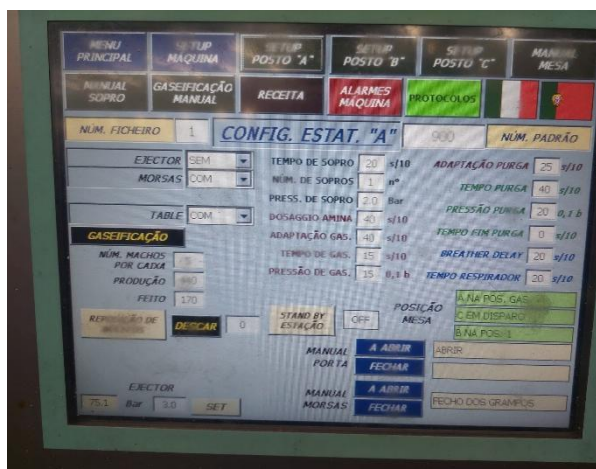


Figura 47 - Implementação de etiquetas com informação visual no nível de óleo das máquinas do sector da macharia.

Para além de tudo o que já foi referido, foi também efetuada a implementação de extração automática na maior parte das caixas e nas máquinas que tem capacidade para tal, de modo a reduzir o tempo em que o operador demora a desmoldar o macho. Com essa alteração o operador já não precisa de estar a abrir a caixa manualmente para retirar o macho e assim otimiza-se o processo produtivo.

Também no gabinete do sector de coordenação ouve a implementação de melhorias, essa passou pela reorganização de toda a documentação do quadro de produção, de forma a ser mais fácil de interpretar por qualquer elemento do sector produtivo.

Claro está que nem tudo foi concluído. Existem melhorias que se encontram em processo de implementação e que não estão ainda concluídas aquando do término do estágio. Como exemplo, pode-se dizer que neste momento está em andamento a atualização do *software* das máquinas da macharia (Figura 48). Nomeadamente, das quatro máquinas existentes na macharia, a BICOR 3300 e a BICOR 3200-99 já tem o novo *software*, enquanto a BICOR 3200-04 vai ser reparada e efetuada a atualização do *software* depois dessa reparação.



(a)



(b)

Figura 48 - Visualização do software antigo das máquinas(a) e software novo das máquinas (b).

Outro exemplo de melhoria de processo que se encontra em andamento é o de nova conceção de carros para transporte das caixas de machos, de forma a garantir que os machos cheguem em perfeitas condições a zona de colocação de machos na linha. De forma a facilitar a identificação das caixas de produção, foi colocado no sistema antigo dos carrinhos de transporte de caixas de machos umas molas para fixar as fichas de cada caixa (Figura 49). Este sistema fixação será também implementado no novo sistema de carros para transporte das caixas de machos.



Figura 49 - Sistema de fixação das fichas nas caixas de machos.

CAPÍTULO 4 – Conclusões e Trabalhos Futuros

O trabalho foi desenvolvido em colaboração com a empresa Fucoli-Somepal S.A., onde foi realizado o meu estágio.

Este trabalho enquadrou-se no âmbito da análise dos consumos energéticos e, consequentemente, na tentativa de redução dos custos com a energia, através da melhoria de dois fornos de indução elétricos.

A cada dia que passa, surgem novas soluções no mercado de redução de custos energéticos. Tem-se verificado uma redução no preço de algumas soluções energeticamente eficientes, fruto da constante inovação tecnológica, da melhoria no processo de fabrico e de uma maior concorrência no mercado. Numa empresa de fundição, a utilização de equipamentos com elevado consumo de energia elétrica exige, necessariamente, uma elevada atenção na organização da sua produção.

Neste trabalho foi também possível efetuar uma otimização dos processos e organização no sector da Macharia para maximizar o sector produtivo.

4.1 - Principais Conclusões

A eficiência energética é uma área onde é sempre possível introduzir melhorias

Deste modo, pela análise dos consumos e verificação dos picos energéticos, conseguimos identificar que nos tempos de manutenção e de vazamento que era possível proceder a uma maior redução energética.

Primeiramente, aprimorou-se a seleção da carga utilizada nos fornos, de modo a diminuir os tempos de fundição do ferro, através da execução da fusão com o forno fechado sempre que possível, abrindo apenas para introduzir ferro e retirar amostras do ferro.

Teve-se também em conta os parâmetros do vazamento, tentando otimizar não só o tempo como o caudal de vazamento na linha de produção.

Além disso, foi elaborado um diagrama de Pareto, a fim de, identificar as causas de paragem da linha de produção. Desta forma verificou-se que a máquina de moldar e o sistema Dyutec são as maiores causas dessas paragens, pois, cada vez que é necessário mudar de molde, a linha de produção tem que parar, logo cada mudança

de molde representa um tempo de espera, e consequentemente, uma perda de tempo de operação.

Como foi referido anteriormente nos primeiros meses do estágio houve efetivamente uma redução nos consumos energéticos, porém, devido à implementação de um novo *software* e de uma nova Tundish, verificou-se um retrocesso nos meses seguintes. Este retrocesso era de alguma forma previsível, devido à adaptação ao novo sistema e ao novo equipamento. Passados algum tempo de adaptação, verificou-se uma nova redução dos consumos, na ordem dos 20% em relação aos períodos análogos dos anos anteriores, não só devido às medidas implementadas anteriormente, mas também devido à otimização do novo *software* e Tundish.

Quanto ao cálculo do OEE, foram utilizados os valores retirados dos registos da máquina e verificou-se que o valor calculado refere que onde as perdas estão a ser minimizadas, embora a empresa, deva continuar sob vigilância do processo apesar de a mesma já possa ser considerada eficiente.

4.2 - Recomendações Futuros

Como recomendação para diminuir as perdas de calor e por consequência as perdas de energia, enumeram-se alguns exemplos de trabalhos futuros.

- Primeiramente, seria importante minimizar o tempo de abertura da tampa do forno, de modo a evitar a exposição do metal fundido e a consequente perda de calor por radiação.
- Além disso, seria também essencial otimizar a temperatura do metal a vaziar para a moldação, através do isolamento do balde de transporte, assim como, a redução do tempo de espera para vazamento e controlo dinâmico da temperatura do metal a vaziar.
- Garantir uma eficaz manutenção do isolamento refratário do forno, da bobine de indução, calibração dos sistemas de medição da temperatura e dos cabos de alimentação de energia elétrica.
- Diminuição dos tempos de manutenção dos fornos, ou seja, diminuindo o tempo em que os fornos estão à espera para vaziar o ferro para as colheres.
- Algumas medidas para melhorar o rendimento na secção da macharia passam pelo aumento da mão-de-obra, ou seja, para as máquinas terem um bom rendimento cada máquina deve de ter no mínimo dois operadores em simultâneo pois assim, um trata de desmoldar os machos das caixas enquanto o outro fica a acabar o macho e pintar caso seja necessário.

- Outra melhoria que poderia acontecer e já com dois operadores seria mais fácil a troca de caixas de machos, pois com dois operadores essa troca seria mais fácil e rápida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Accept, 2021. *Accept.* [Online]
Available at: <https://www.accept.pt/oeo-overall-equipement-effectiveness-o-que-e-e-como-calcular/>
[Acedido em 22 Julho 2021].

ADENE, 2021. *“Medidas de Eficiência Energética”.* [Online]
Available at: <http://www.adene.pt/textofaqs/industria>

Ahuja, J. & Khamba, I., 2008. Total productive maintenance: literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, pp. 709-756.

Amado, L., 2018. *Medidas de Eficiência Energética no Sector Industrial*, Coimbra: Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

Dyutec, S., 2003. *Maquinaria y equipos para la fundición.* [Online]
Available at: <http://www.dyutec.com/default.htm>

Ferreira, J., *Tecnologia da Fundição*. 1ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 1999.

Fucoli Somepal, S., 2021. [Online]
Available at: <https://www.fucoli-somepal.pt/>

INDUCTOTHERMGROP, 2021. [Online]
Available at: <https://inductothermgroup.com.br/products/sistemas-de-controle-melt-manager-plus/>

INFOMET, 2020. *Alto Forno: Obtenção do Ferro Gusa.* [Online]
Available at: <https://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=234>.

MAGMA, 2021. *Energy and raw material savings in foundries through thorough utilization of simulation.* [Online]
Available at: <https://www.magma-soft.de/en/solutions/cast-iron/publication/Energy->

and-raw-material-savings-in-foundries-through-thorough-utilization-of-simulation-00001/

Morgado, J., *Regeneração e reutilização de areias de macho em fundição*. Aveiro: Tese de Mestrado da Universidade de Aveiro. 2019.

Nakajima, S., *Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*. Portland: Productivity Press. 1988.

Oliveira, M., *Sebenta Materias de Engenharia*. Coimbra: s.n. 2011.

Padilha, Â. F., *Materiais de engenharia microestruturas e propriedades*. s.l.:Hemus Livraria, Distribuidora e Editor S.A.. 2000.

Pinto, J., *Cálculo do OEE e proposta de implementação da metodologia TPM na Tridec Lda.* Tese de Mestrado ed. Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2016.

SGCIE, 2021. *Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia*. [Online] Available at: <https://sgcie.pt/>

Wagner, D. B., 2020. *Early iron in China, Korea, and Japan*. [Online] Available at: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Alto-forno>