



Otimização do processo industrial de uma trituração

DANIEL FILIPE NOGUEIRA BRAZ

julho de 2022

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO INDUSTRIAL DE UMA TRITURAÇÃO

Daniel Filipe Nogueira Braz

1160599

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO INDUSTRIAL DE UMA TRITURAÇÃO

Daniel Filipe Nogueira Braz

1160599

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho e coorientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva.

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

JÚRI

Presidente

Doutor Hernâni Miguel Reis Lopes

Professor Coordenador, ISEP

Orientador

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto, ISEP

Coorientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Coordenador com Agregação, ISEP

Arguente

Doutora Anabela Carvalho Alves

Professor Auxiliar, UM

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho por todo o apoio prestado ao longo deste percurso. Sempre disponível para esclarecer todas as dúvidas que surgiram.

Ao Professor Doutor Francisco José Gomes da Silva por toda a sua partilha de conhecimentos que contribuíram para a construção da presente dissertação.

A toda equipa da unidade de trituração da entidade acolhedora, especialmente ao Engenheiro Tiago Gonçalves, orientador do contexto de estágio, a quem devo um enorme obrigado pela sua compreensão, pelos desafios que me proporcionou e por ter contribuído para o meu crescimento.

Aos meus amigos que me incentivaram e compreenderam a minha ausência enquanto me dedicava à realização deste trabalho.

À minha namorada, que foi um pilar na construção do projeto e me apoiou em tudo o que podia.

Por último, um enorme obrigado à minha família, nomeadamente aos meus pais e avós. Não existem palavras para descrever todo o apoio que me deram desde que ingressei no meu percurso académico.

PALAVRAS-CHAVE

Sustentabilidade, *Lean*, Melhoria de processos, Unidade de trituração, Cortiça,

RESUMO

Dado o crescimento da procura por materiais sustentáveis e com baixa pegada ecológica, a indústria corticeira tem sido proposta a desafios para reutilizar o desperdício gerado na produção de rolhas. Com a competitividade que existe nos dias de hoje, graças a um mundo cada vez mais global e ao aumento de concorrentes, é necessário dar resposta não só às necessidades na região de influência de uma indústria, mas também às necessidades que existem mundialmente. Para este efeito, é necessário rentabilizar ao máximo o desperdício que é gerado, pois a cortiça é uma matéria-prima finita, para assim conseguir dar resposta ao mercado global de maneira a manter a competitividade.

O presente caso de estudo foi desenvolvido numa empresa que tem como função principal processar cortiça e que é líder mundial neste mercado. A primeira fase do processamento de cortiça na empresa é a sua receção para ser triturada e processada de modo a ser colocada dentro de especificações a nível de humidade, granulometria e peso específico. A unidade responsável por este processo é a unidade de trituração e foi onde incidiu o trabalho apresentado. O objetivo do trabalho consistiu na melhoria do processo industrial de trituração a nível de aumento de produção, ao reduzir tempos de paragem, e a nível de eficiência energética, ao atuar sobre os pontos de maior consumo. Começou-se por analisar o fluxo físico do processo industrial de trituração e entender o processo global de transformação de cortiça nos diferentes estágios com o acompanhamento de produção, paragens e arranques. Através de ferramentas e métodos como *brainstorming*, fluxogramas, técnica *5 Why*, Diagrama de Ishikawa e formulário de recolha de dados, foram identificados cinco problemas na unidade de trituração, que foram agrupados em três grupos principais: disponibilidade da linha de produção, paragem geral do turno e eficiência energética.

Foram implementadas ações de melhoria a três problemas, projetada uma solução para um e criado um conceito para o outro. Através de medição de tempos foi possível reduzir o tempo de paragem em 25 minutos e 30 segundos por turno e ainda aumentar a disponibilidade de equipamentos e a eficiência energética de outros.

KEYWORDS

Sustainability, Lean, Process improvement, Grinding unit, Cork.

ABSTRACT

Given the growing demand for sustainable materials with a low ecological footprint, the cork industry has been challenged to reuse the waste generated in the production of cork stoppers. With the competitiveness that exists today, thanks to an increasingly global world and the increase in competitors, it is necessary to respond not only to the needs in the region of influence of an industry, but also to the needs that exist worldwide. For this purpose, it is necessary to maximize the generated waste, as cork is a limited raw material, to respond to the global market to maintain competitiveness.

The present case study was developed in a company whose main function is to process cork and which is a world leader in this market. The first phase of cork processing in the company is its reception to be grinded and processed to be placed within specifications in terms of humidity, granulometry and specific weight. The unit responsible for this process is the grinding unit and this is where the work presented was focused. The objective of the work was to optimize the industrial grinding process, either in terms of increased production, by reducing downtime, or in terms of energy efficiency, by acting on the points of greatest consumption. It started by analyzing the physical flow of the industrial grinding process and understanding the global process of cork transformation in the different stages with the monitoring of production, stops and starts. Through tools and methods like brainstorming, flowcharts, 5 Why technique, Ishikawa diagram and data collection form, five problems were identified in the grinding unit, being grouped into three main groups: production line availability, general shift stop and energy efficiency.

Improvement actions were implemented for the three problems, a solution was designed for one, and a concept was created for the other. Through time measurement it was possible to reduce downtime by 25 minutes and 30 seconds per shift and also to increase equipment availability and the energy efficiency of others.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

3 σ	Três desvio padrão
AD	Alta densidade
ANOVA	Análise de Variância
BD	Baixa densidade
CA	<i>Criticality Analysis</i>
CEX	Câmara de expansão
CO ₂	Dióxido de carbono
D	Deteção
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i>
DOE	<i>Design of Experiments</i>
EE	Energia elétrica
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
FMECA	<i>Failure Modes, Effects and Criticaly Analysis</i>
GMT	<i>Granular Material Technology</i>
GN	Gás natural
HAZ	<i>Heat Affected Zone</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LC	Linha central

LEI	Limite de Especificação Inferior
LES	Limite de Especificação Superior
LIC	Linha inferior de controlo
LSC	Linha superior de controlo
MD	Média densidade
MF	Micro fino
O	Ocorrência
OPL	<i>One Point Lesson</i>
OT	<i>Opportunities, Threats</i>
PFDA	<i>Pythagorean Fuzzy Dimensional Analysis</i>
PMF	Potenciais Modos de Falha
Q	Queimador
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
S	Severidade
SCADA	Sistema de supervisão e aquisição de dados
SO	<i>Strengths, Opportunities</i>
SW	<i>Strengths, Weaknesses</i>
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats</i>
TF	Termofluido
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
WT	<i>Weaknesses, Threats</i>

Lista de Unidades

g/cm^3	Massa volúmica
kWh	Quilowatt-hora
m^3/h	Mero cúbico por hora
€/hora	Euro por hora
€/kWh	Euro por quilowatt-hora
m	Metro
mm^2/s	Viscosidade cinemática
mm	Milímetro
Rpm	Rotações por minuto

Lista de Símbolos

$\%$	Porcentagem
σ	Desvio padrão
€	Euro

GLOSSÁRIO DE TERMOS

5S	Conjunto de cinco palavras japonesas iniciadas pela letra “S” que formam uma metodologia para promover a organização do trabalho. Estas palavras traduzidas para português significam: Selecionar, Organizar, Limpar, Padronizar, Manter.
5 Why	Ferramenta que permite identificar a causa de um problema através da repetição (normalmente cinco vezes) da pergunta “porquê?”.
C_p	Índice de capacidade de produção do processo.
C_{pk}	Índice de capacidade de especificação do processo.
Input	Parâmetros de entrada do processo.
Lean	É uma filosofia de gestão que tem como principais pilares a otimização de custos e a eliminação de desperdícios de uma organização.
Output	Resultado do processo.
Seis Sigma	É um conjunto de práticas desenvolvidas para melhorar sistematicamente processos ao reduzir falhar e custos de produção.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas da construção do relatório (elaboração própria).....	4
Figura 2 - Organização estrutural da entidade acolhedora (elaboração própria)	5
Figura 3 - Sobreiro com casca [2]	9
Figura 4 - Ânfora vedada com rolha de cortiça, séc. V a.C. (a); sola de sapato do período Romano (b) [6]	9
Figura 5 - Etapas do descortiçamento [8].....	10
Figura 6 - Primeiro descortiçamento (desbóia) (a); segundo descortiçamento (b); terceiro descortiçamento (c) [9].....	11
Figura 7 - Aglomerados de cortiça sob a forma de: blocos de cortiça natural (a); cilindros de cortiça natural (b); cilindros de cortiça com borracha (c) (elaboração própria)	13
Figura 8 - Elementos de entrada e saída de um processo industrial [26]	15
Figura 9 - Etapas do <i>brainstorming</i> (adaptado de [33, 34])	17
Figura 10 - Etapas do DMAIC (adaptado de [35])	18
Figura 11 - Exemplo de um VSM para a indústria automóvel [37].....	19
Figura 12 - Cinco perguntas frequentes no método <i>5 Why</i> (adaptado de [41])	19
Figura 13 - Representação esquemática de uma análise SWOT (adaptado de [42, 43])	20
Figura 14 - Passos para a aplicação de uma análise FMEA (adaptado de [47])	21
Figura 15 - Metodologia 5S (elaboração própria)	22
Figura 16 - Modelação e previsão da zona afetada pelo calor em operações de perfuração de descargas eletroquímicas através de uma matriz <i>one-factor-at-time</i> [58]	23
Figura 17 – Exemplo de <i>full factorial design</i> na indústria química [59].....	24
Figura 18 - Experiência sobre a resistência de juntas adesivas com base na matriz ortogonal de Taguchi [60].....	24
Figura 19 - Sete princípios de qualidade na indústria (adaptado de [68])	27
Figura 20 - Conceitos de qualidade (adaptado de [70])	28
Figura 21 - Fluxograma do cálculo do algoritmo de uma bomba de calor [77].....	30
Figura 22 - Folha de manutenção de uma máquina crítica de produção de semicondutores [81].....	31
Figura 23 - Diagrama de causa-efeito (adaptado de [78]).....	32
Figura 24 - Diagrama de Pareto [84]	32

Figura 25 - Diferentes formas de histogramas: simétrico (a); desviado à esquerda (b); desviado à direita (c); bimodal (d); multimodal (e) (adaptado de [78])	33
Figura 26 - Gráfico de dispersão com respetiva correlação: correlação muito fraca (a); correlação positiva (b); correlação muito positiva (c); correlação negativa (d); correlação muito negativa (e) (elaboração própria)	34
Figura 27 - Esquemática do funcionamento da unidade industrial	44
Figura 28 – Fluxograma da 1ª trituração e remoagem	45
Figura 29 - Baía (a); refugo cru (b); apara de costa (c); rolhas (d); triturado (e)	46
Figura 30 - Pá carregadora (a); alimentador vibratório (b)	47
Figura 31 - Moinho destroçador (a); sistema de filtragem (b)	47
Figura 32 - Ciclone (a); ventilador (b); filtro (c); eclusa (d)	48
Figura 33 – Representação do equipamento: peneiros industriais	48
Figura 34 – Representação do equipamento: <i>PopCork</i>	49
Figura 35 – Representação do equipamento: secador horizontal	50
Figura 36 – Representação dos equipamentos: "segundos" peneiros industriais	50
Figura 37 - Moinho de facas (a); rotor com facas na extremidade (b); crivo (c)	51
Figura 38 – Representação dos equipamentos: crivos calibradores	51
Figura 39 – Separador gravítico: vista exterior (a); vista interior (b); divisão da densidade (c)	52
Figura 40 - Moinho de impacto (a); crivo (b); rotor (c)	53
Figura 41 – Representação do equipamento: secador vertical	53
Figura 42 – Diferentes embalagens de cortiça: <i>bigbags</i> (a); sacos (b); sacos de papel (c); fardos (d)	54
Figura 43 - <i>Brainstorming</i> de análise e implementação de ideias	55
Figura 44 - Representação do equipamento: crivagem	56
Figura 45 - Fluxograma da matéria-prima com inclusão do equipamento de crivagem	57
Figura 46 - Representação do fluxo da paragem dos ciclofiltros	58
Figura 47 - Utilização da ferramenta <i>5 Why</i>	59
Figura 48 - Diagrama de Ishikawa em relação ao elevado tempo de paragem	59
Figura 49 – Paragem sequencial dos filtros exteriores e da crivagem	60
Figura 50 - Consumo de TF da 1ª e 2ª trituração	61
Figura 51 - Esquema do processo de expansão de cortiça	61
Figura 52 - Funcionamento normal do equipamento da crivagem	63

Figura 53 - Primeira etapa da paragem do equipamento da crivagem	63
Figura 54 - Segunda etapa da paragem do equipamento da crivagem	64
Figura 55 - Terceira etapa da paragem do equipamento da crivagem	64
Figura 56 - Quarta etapa da paragem do equipamento da crivagem	65
Figura 57 - Tempo de paragem das etapas da crivagem	66
Figura 58 - Paragem paralela dos filtros exteriores e da crivagem	66
Figura 59 – Alteração da paragem de equipamentos com base em programação	67
Figura 60 - Representação da alteração do fluxo da paragem dos ciclofiltros	68
Figura 61 - Consumo de TF da 1ª e 2ª trituração no mês posterior à troca de bomba de TF	70
Figura 62 - Consumo de GN no secador da 2ª trituração	70
Figura 63 - Reaproveitamento do vapor libertado pelo <i>PopCork</i>	71

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Características e vantagens da cortiça [10, 11]	11
Tabela 2 - Aplicações de cortiça [14, 15]	13
Tabela 3 - Compilação de trabalhos com a aplicação de técnicas de melhoria de processos.....	25
Tabela 4 - Símbolos típicos num fluxograma [76]	30
Tabela 5 - Exemplos de algumas regras aplicadas às cartas de controlo (adaptado de [78])	35
Tabela 6 - Compilação de trabalhos com a aplicação das sete ferramentas da qualidade	36
Tabela 7 - Descrição das unidades industriais	41
Tabela 8 - Principais produtos finais da unidade de trituração	43
Tabela 9 - Problemas identificados na unidade de trituração e soluções propostas	62
Tabela 10 - Características técnicas da bomba de TF existente e proposta	69
Tabela 11 – Ganhos com a alteração da sequência de paragem de equipamentos com resolução imediata	72
Tabela 12 - Ganhos com a alteração da sequência de paragem de equipamentos com resolução futura	73
Tabela 13 - Ganhos com a alteração do fluxo das terras	73
Tabela 14 - Ganhos com a troca da bomba de TF	74
Tabela 15 - Possíveis ganhos com o pré-aquecimento do ar dos secadores através da condensação do vapor do <i>PopCork</i>	74
Tabela 16 - Análise de custos da alteração da sequência de paragem de equipamentos com resolução imediata	75
Tabela 17 - Análise de custos da alteração da sequência de paragem de equipamentos com resolução futura	76
Tabela 18 – Análise de custos da alteração do fluxo das terras	76
Tabela 19 - Análise de custos com a troca da bomba de TF.....	77
Tabela 20 – Análise de custos para o possível pré-aquecimento do ar dos secadores através da condensação do vapor do <i>PopCork</i>	77
Tabela 21 - Resumo de análise de custo das várias ações de melhoria	78
Tabela 22 - Análise ao estado de conclusão dos objetivos propostos e às ações de melhoria implementadas	81

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	Contextualização	3
1.2	Objetivos	3
1.3	Metodologia de trabalho	4
1.4	Estrutura do relatório.....	4
1.5	Local/Empresa de acolhimento.....	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1	A cortiça	9
2.1.1	História da cortiça	9
2.1.2	Descortiçamento	10
2.1.3	Características	11
2.1.4	Compósitos de cortiça.....	12
2.1.5	Aplicações.....	13
2.2	Melhoria de processos industriais	15
2.2.1	Conceito de melhoria de processo.....	15
2.2.2	Análise de equipamentos	15
2.2.2.1	Capacidade do processo	15
2.2.2.2	Parâmetros do processo	16
2.2.3	Técnicas de melhoria de processos.....	17
2.2.3.1	Brainstorming	17
2.2.3.2	DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control)	17
2.2.3.3	Value Stream Mapping	18
2.2.3.4	5 Why.....	19
2.2.3.5	Análise SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats).....	19

2.2.3.6	Análise FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)	20
2.2.3.7	Metodologia 5S.....	21
2.2.3.8	Desenho de Experiências	22
2.2.4	Estado-da-arte da melhoria de processos.....	25
2.3	Qualidade na indústria.....	27
2.3.1	Conceito de qualidade.....	27
2.3.2	Ferramentas da qualidade.....	29
2.3.2.1	Fluxogramas.....	29
2.3.2.2	Formulário de recolha de dados	30
2.3.2.3	Diagramas de causa-efeito	31
2.3.2.4	Diagramas de Pareto.....	32
2.3.2.5	Histogramas	33
2.3.2.6	Diagramas de dispersão.....	34
2.3.2.7	Cartas de controlo	35
2.3.3	Estado-da-arte de qualidade na indústria	36
3	DESENVOLVIMENTO	41
3.1	Apresentação da empresa	41
3.2	Objetivos do trabalho.....	42
3.2.1	Aumento da disponibilidade da linha de produção	42
3.2.2	Melhoria geral da paragem do turno	42
3.2.3	Eficiência energética.....	43
3.3	Descrição da unidade de trituração	43
3.3.1	Primeira trituração	44
3.3.2	Secagem	53
3.3.3	Embalagem.....	54
3.4	Caracterização dos problemas e análise de causas	54
3.4.1	Falta de disponibilidade da linha de produção	55
3.4.2	Paragem geral do turno.....	57

3.4.2.1	Fluxo das terras.....	57
3.4.2.2	Sequência de paragem de equipamentos	59
3.4.3	Eficiência energética.....	60
3.4.3.1	Elevado consumo de energia.....	60
3.4.3.2	Desperdício de energia	61
3.5	Implementação de ações de melhoria.....	62
3.5.1	Alteração da sequência de paragem de equipamentos	62
3.5.2	Alteração do fluxo das terras	68
3.5.3	Eficiência energética.....	69
3.5.3.1	Troca da bomba de TF	69
3.5.3.2	Condensação do vapor do PopCork para o pré-aquecimento do ar dos secadores.....	71
3.6	Quantificação das melhorias obtidas e indicadores	71
3.6.1	Alteração da sequência de paragem de equipamentos	71
3.6.2	Alteração do fluxo das terras	73
3.6.3	Eficiência energética.....	74
3.6.3.1	Troca da bomba de TF	74
3.6.3.2	Condensação do vapor do PopCork e pré-aquecimento do ar dos secadores	74
3.7	Análise de custos e retorno do investimento	75
3.7.1	Alteração da sequência de paragem de equipamentos	75
3.7.2	Alteração do fluxo das terras	76
3.7.3	Eficiência energética.....	76
3.7.3.1	Troca da bomba de TF	76
3.7.3.2	Condensação do vapor do PopCork e pré-aquecimento do ar dos secadores	77
3.7.4	Resumo dos ganhos obtidos.....	78
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	81
4.1	Conclusões	81
4.2	Propostas de trabalhos futuros.....	83
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	87

6	APÊNDICES	95
6.1	Apêndice 1 – Formulário de recolha de dados	95
6.2	Apêndice 2 – OPL sequência de paragem	96

INTRODUÇÃO

- 1.1 Contextualização
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Metodologia de trabalho
- 1.4 Estrutura do relatório
- 1.5 Local/Empresa de acolhimento

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Com o crescente aumento da preocupação em relação ao cuidado com o meio ambiente, existe nos dias de hoje uma maior procura por materiais sustentáveis, recicláveis e que funcionem numa economia circular. Como a cortiça é um produto natural é também finito. Por esta razão torna-se necessário extrair o seu máximo *output* de maneira a conseguir dar resposta a um mercado cada vez mais competitivo e global. Através do desperdício da produção de rolhas é possível produzir uma grande variedade de produtos, o que torna ainda mais importante rentabilizar não só a cortiça, mas também o desperdício gerado. A empresa acolhedora produz aglomerados de cortiça com o desperdício. Este desperdício é triturado numa fase inicial, pelo que é necessário aumentar a eficiência logo nesta primeira etapa, de maneira que seja possível dar resposta às necessidades do mercado. É desta necessidade que surge o tema de dissertação “Melhoria do processo industrial de uma trituração”.

1.2 Objetivos

O presente trabalho teve como principal objetivo a melhoria do processo industrial da trituração de cortiça na entidade acolhedora. Para este efeito, foi necessário estudar todo o fluxo da cortiça desde a sua receção até ao seu estado final, acompanhar paragens e arranques, e analisar equipamentos críticos do processo.

O projeto foi dividido em vários objetivos, sendo estes os seguintes:

- Aumento da disponibilidade da linha de trituração;
 - Acompanhamento da produção;
 - Identificação de equipamentos mais críticos.
- Melhoria geral da paragem do turno;
 - Acompanhamento de paragens e arranques de turno;
 - Identificação de fluxos críticos;
- Aumento da eficiência energética;
 - Identificação dos equipamentos com maior consumo de energia;
 - Análise de processos energeticamente ineficientes.

1.3 Metodologia de trabalho

O desenvolvimento do trabalho deu-se ao longo das 8 fases representadas na Figura 1.

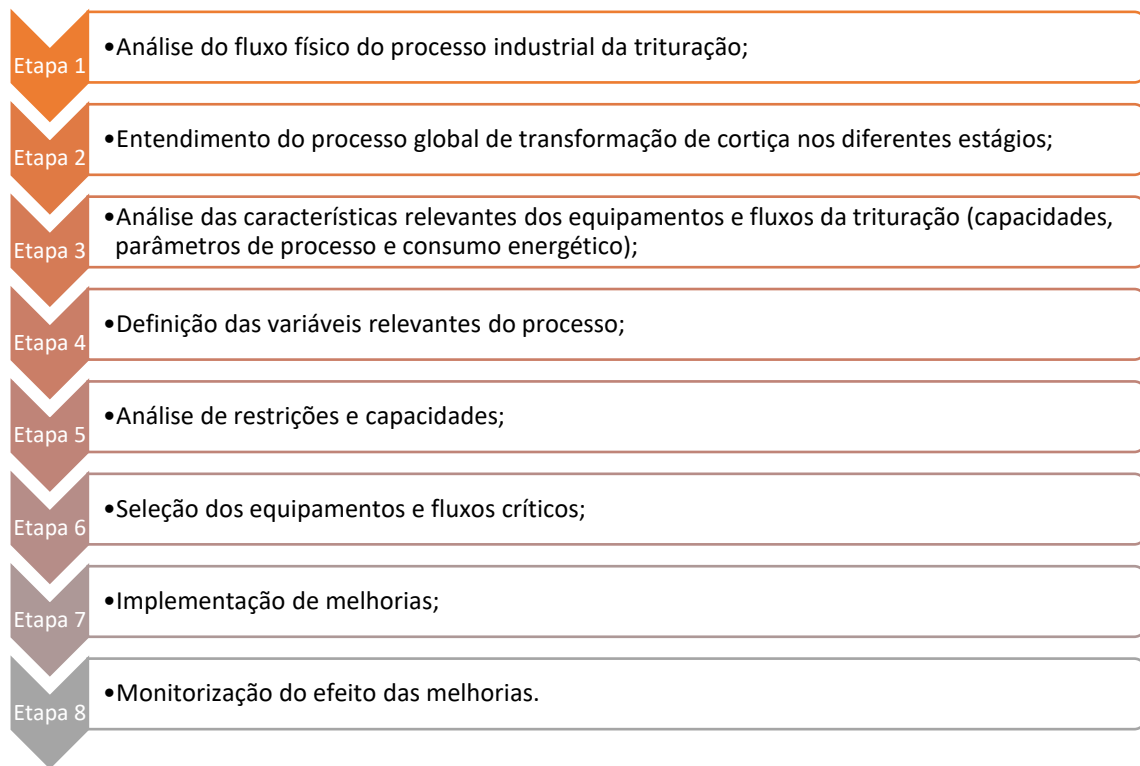


Figura 1 - Etapas da construção do relatório (elaboração própria)

1.4 Estrutura do relatório

Este relatório está dividido em 6 capítulos. O primeiro retrata a introdução, o segundo a revisão bibliográfica e o último uma análise crítica ao capítulo anterior e uma conclusão do trabalho.

No primeiro capítulo é realizado um enquadramento do trabalho, assim como da empresa de acolhimento, e são apresentados os objetivos e os métodos do trabalho.

O segundo capítulo está subdividido em três subcapítulos: a cortiça, melhoria de processos industriais e qualidade na indústria. No primeiro é descrita a cortiça desde a sua extração até às suas mais recentes aplicações. No segundo são enunciadas as técnicas de melhoria de processos mais significativas e, no final, são descritos trabalhos que graças a estas técnicas conseguiram melhorar o seu desempenho. O terceiro descreve as principais ferramentas da qualidade e, assim como no subcapítulo anterior, no final são descritos vários trabalhos e projetos que melhoraram o seu desempenho graças a estas ferramentas.

O terceiro capítulo, desenvolvimento, descreve o trabalho prático desenvolvido na empresa. Neste capítulo inicialmente é descrito o funcionamento da unidade de trituração e detalhado todo o seu processo. De seguida, são identificados os problemas no processo que irão ser alvo de foco. Por último são implementadas soluções e colocadas propostas de melhoria.

No quarto capítulo, conclusões e propostas de trabalhos futuros, é realizada uma última análise ao trabalho e apresentadas considerações finais. São ainda sugeridas algumas propostas de trabalhos futuros.

No quinto capítulo, bibliografia e outras fontes de informação, apresentam-se todas as fontes bibliográficas consultadas para a realização da revisão bibliográfica.

No sexto capítulo apresentam-se os apêndices da presente dissertação.

1.5 Local/Empresa de acolhimento

Este trabalho foi realizado numa entidade acolhedora que tem como função produzir granulados de cortiça, aglomerados de cortiça natural e aglomerados de cortiça com produtos em fase final de vida, como pneus ou solas de sapatos. A empresa acolhedora está dividida em 5 unidades independentes de produção, como é apresentado na Figura 2. A unidade de trituração é a que recebe a cortiça, tritura-a e trata-a para a encaminhar para as outras unidades industriais ou para exportação. É nesta unidade que vai incidir a dissertação, com o objetivo de melhorar a trituração.

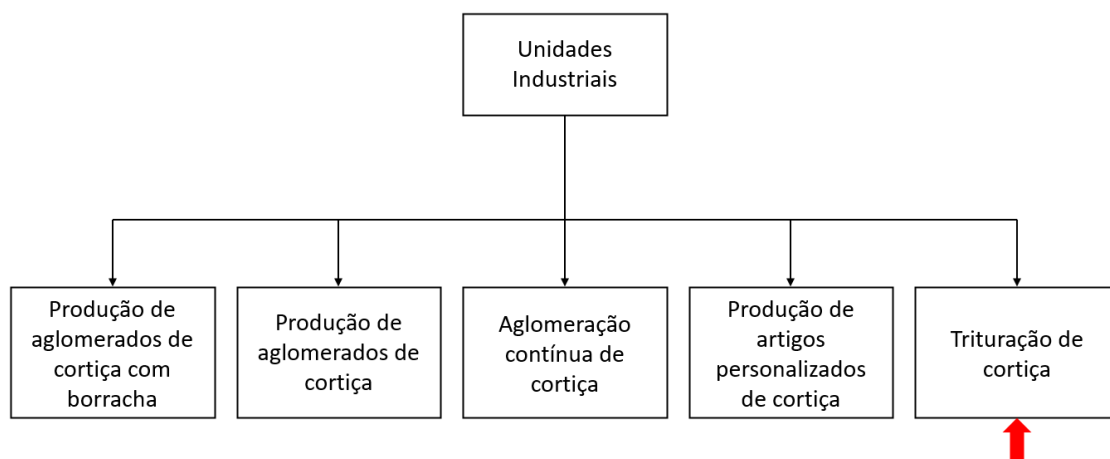


Figura 2 - Organização estrutural da entidade acolhedora (elaboração própria)

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 A cortiça
- 2.2 Melhoria de processos industriais
- 2.3 Qualidade na indústria

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cortiça

A cortiça é a casca do sobreiro (*Quercus suber* L) (Figura 3) [1], o que significa que é um tecido vegetal 100% natural e por isso 100% reutilizável, reciclável e biodegradável.



Figura 3 - Sobreiro com casca [2]

A nível da composição química, a formação das células da cortiça assemelha-se a uma colmeia preenchida com um gás semelhante ao ar e revestida maioritariamente por suberina e lenhina [3].

2.1.1 História da cortiça

A cortiça é um material cujas aplicações são conhecidas desde a antiguidade, sobretudo como artefacto flutuante e como vedante [4].

Desde cedo que a cortiça tem a função de vedar garrafas, sendo ainda hoje a sua maior aplicação. Porém, esta só começou a ser aproveitada em larga escala quando surge o crescimento da utilização de recipientes (garrafas) em vidro [5]. No entanto, muito antes desta utilização generalizada, a cortiça já tinha algumas aplicações (Figura 4) que ainda hoje persistem, tais como o fabrico de colmeias, solas para sapatos e revestimentos de telhados.



Figura 4 - Ânfora vedada com rolha de cortiça, séc. V a.C. (a); sola de sapato do período Romano (b) [6]

Em 1903, pela primeira vez no mundo, iniciou-se a produção das primeiras rolhas de corpo aglomerado de cortiça e com discos de cortiça natural [5]. Três anos depois instala-se a primeira fábrica em Portugal que produz aglomerados de cortiça [7].

A partir da segunda metade do século XX a cortiça começou a ganhar terreno e a tornar-se cada vez mais revelante no mercado. Hoje, a cortiça é utilizada nas mais diversas aplicações, como referido posteriormente na presente revisão.

Hoje em dia, e principalmente com os aglomerados de cortiça, esta matéria-prima conquistou as mais diversas e exigentes indústrias, desde a automóvel até à aeroespacial.

2.1.2 Descortiçamento

É com o descortiçamento que a cortiça inicia o seu ciclo de vida como matéria-prima [6]. Este é um processo manual e ancestral, em que apenas pessoas experientes possuem a habilidade para extrair a casca do sobreiro, pois é necessário muito cuidado para não danificar a casca e até mesmo o sobreiro.

O descortiçamento é composto por 6 fases conforme se apresenta na Figura 5.

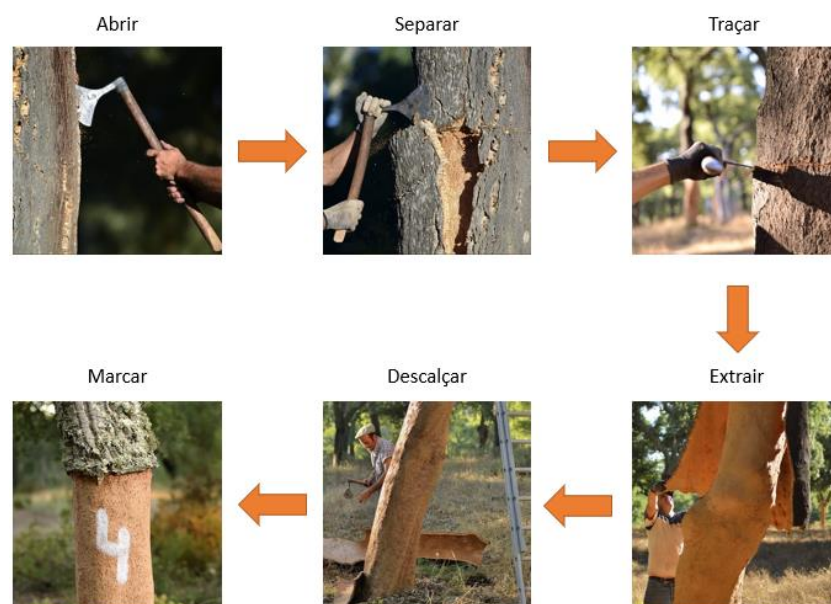


Figura 5 - Etapas do descortiçamento [8]

São necessários 25 anos até que se extraia a primeira cortiça de um sobreiro. Neste primeiro descortiçamento (Figura 6 a), designado de desbóia, é obtida cortiça virgem, que possui uma forma irregular que ainda não apresenta qualidade para a produção de rolhas. Esta é encaminhada para a trituração e aproveitada para outras aplicações.

Passados nove anos realiza-se o segundo descortiçamento (Figura 6 b), apesar de apresentar melhor qualidade que o primeiro, ainda não se encontra na forma ideal para a produção de rolhas, acabando por ter o mesmo destino que a cortiça virgem.

Completados outros nove anos é feito o terceiro descortiçamento (Figura 6 c), que já possui as qualidades ideais para a produção de rolhas.



Figura 6 - Primeiro descortiçamento (desbóia) (a); segundo descortiçamento (b); terceiro descortiçamento (c) [9]





A partir daqui, de nove em nove anos, é feita a extração da cortiça durante um período médio de 130 anos.

Depois de remover a cortiça do sobreiro é essencial deixá-la repousar durante 6 meses ao ar livre, para assim maturar e estabilizar, antes de avançar para a produção de rolhas.

2.1.3 Características

Como já referido, a cortiça é um produto 100% natural, renovável, reciclável, reutilizável e biodegradável. Para além das características supramencionadas, apresenta ainda uma série de outras (Tabela 1) que na maioria das suas aplicações são bastante vantajosas.

Tabela 1 - Características e vantagens da cortiça [10, 11]

Característica		Descrição
Leveza		Maior parte do volume da cortiça é preenchido por ar, o que conseqüentemente a torna bastante leve, pesando apenas 0,16 g/cm ³ [10].
Elástica, compressível e resiliente		A cortiça é o único sólido que, ao sofrer pressão de um lado, o volume do lado oposto não sofre alteração [11]. Além disso, a “memória elástica” permite-lhe a adaptação a variações de pressão e temperatura.
Impermeável		É totalmente impermeável a líquidos e praticamente impermeável a gases. A resistência à humidade permite-lhe envelhecer sem perder qualidades.
Isolamento acústico		As células da cortiça, por apresentarem uma baixa condutividade de som e vibração, funcionam como um autêntico absorvedor de decibéis [11]. Esta característica torna a cortiça excelente no isolamento de som e vibração.

<p>Isolamento térmico</p>		<p>A estrutura molecular permite absorver calor e mantê-lo bastante tempo.</p>
<p>Hipoalérgico</p>		<p>Não absorve pó e evita o aparecimento de ácaros, contribuindo para a proteção contra alergias.</p>
<p>Absorção de choques</p>		<p>Graças à estrutura em favo de mel, a cortiça é muito eficaz na absorção de choques, o que permite aliviar a pressão nos pés, protegendo as articulações e a coluna.</p>
<p>Retardadora de fogo</p>		<p>A cortiça tem uma combustão lenta, o que a torna resistente ao fogo e a altas temperaturas. Durante a combustão, a cortiça não liberta gases tóxicos.</p>
<p>Energética</p>		<p>O pó da cortiça pode ser usado como biomassa e é uma fonte de energia neutra em termos de emissões de CO₂.</p>
<p>Suave ao toque</p>		<p>A nível do tato, a cortiça é muito suave e a sua temperatura natural é muito próxima à do corpo humano. O cheiro é muito característico, agradável e levemente adocicado [8]. Em relação ao aspeto visual, de Moura [12] refere: <i>“A cortiça não é para ficar escondida. (...) Acho a cortiça bonita, pela cor, pela textura, pela naturalidade.”</i></p>

2.1.4 Compósitos de cortiça

Os compósitos da cortiça surgem com a intenção de aproveitar os desperdícios da produção de rolhas, que rondam os 70% [13]. Após selecionada a cortiça que é desperdício, e juntamente com as sobras da produção de rolhas, esta é triturada e passa por uma sequência de processos que irão ser detalhados posteriormente. De seguida, a cortiça é encaminhada para um processo que mistura a cortiça com resina ou até mesmo com outros desperdícios de indústria (como exemplo a borracha). Com a ação de temperatura e pressão produzem-se aglomerados em forma de blocos ou cilindros (Figura 7), que podem manter esta forma ou ser laminados.

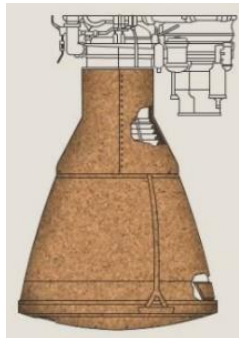



Figura 7 - Aglomerados de cortiça sob a forma de: blocos de cortiça natural (a); cilindros de cortiça natural (b); cilindros de cortiça com borracha (c) (elaboração própria)

2.1.5 Aplicações

Hoje em dia a cortiça tem a sua contribuição em aplicações que é difícil de imaginar. Alguns exemplos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Aplicações de cortiça [14, 15]

Aplicação	Descrição
<p data-bbox="229 1218 408 1294">Indústria aeroespacial</p>  <p data-bbox="751 1384 807 1413">[16]</p>	<p data-bbox="906 1115 1359 1406">As características térmicas da cortiça desempenham um papel fundamental na entrada e saída da camada de ozono, protegendo vários componentes da nave espacial, como por exemplo os motores propulsores.</p>
<p data-bbox="229 1592 395 1668">Indústria automóvel</p>  <p data-bbox="790 1742 829 1771">[17]</p>	<p data-bbox="906 1547 1359 1713">Combinada com borracha, permite obter propriedades únicas para a produção de juntas e vedantes.</p>

Bens de consumo



[18]

A coleção “Alma Gémea” é o exemplo da beleza que se consegue obter combinando a cortiça com diferentes matérias, neste caso a cerâmica.

Construção



[19]

Na imagem é possível ver a aplicação no Terminal de Cruzeiro de Lisboa, que combina cortiça com betão, criando uma estrutura de design único e 40% mais leve.

Calçado



[20]

Como já referido, há centenas de anos que a cortiça é usada com esta funcionalidade. Hoje em dia não é diferente, mas com as novas tecnologias é possível alcançar maior conforto.

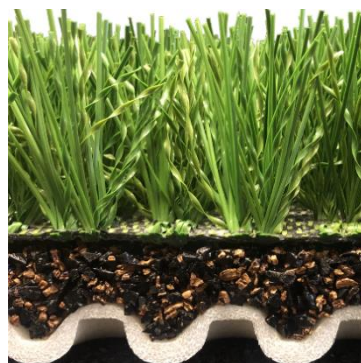
Mobilidade



[21]

A utilização de cortiça nos transportes de última geração promove a segurança, o conforto e a diminuição do consumo de energia graças às suas várias características.

Indústria do desporto



[22]

A substituição de borracha sintética por cortiça nos pavimentos desportivos é cada vez mais comum. Para além de não ser uma ameaça à saúde humana, a cortiça não atinge temperaturas muito elevadas e tem um bom poder de absorção de água.

2.2 Melhoria de processos industriais

Todas as indústrias produzem valor, quer seja na forma de um produto ou serviço. Uma melhoria de processos vai contribuir para o aumento da eficácia e eficiência dessa produção. Com a globalização surgiram mudanças e desafios na indústria que obrigaram a aprofundar melhor este conceito para assim continuarem competitivas a nível de qualidade e de custos [23].

São vários os métodos para melhorar um processo, e os mais comuns já estão aplicados em praticamente todas as indústrias. Os métodos mais relevantes, como irão ser detalhados no presente capítulo [24].

2.2.1 Conceito de melhoria de processo

Melhoria de processo é um aspeto de desenvolvimento organizacional em que uma série de ações são desenvolvidas para identificar, analisar e melhorar os processos já existentes [25].

O desempenho de uma organização é gerido pela combinação de *inputs* que são possíveis de controlar e *inputs* incontroláveis. Do resultado são obtidos *outputs* que podem ser calculados ou então têm que ser medidos (Figura 8) [26]. De forma a alcançar o melhor desempenho do processo é necessária uma avaliação e análise do melhor ajuste dos parâmetros possíveis de controlar.

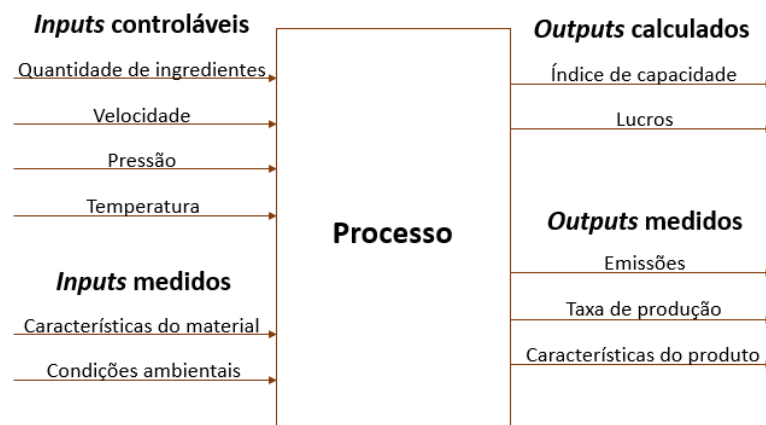


Figura 8 - Elementos de entrada e saída de um processo industrial [26]

2.2.2 Análise de equipamentos

2.2.2.1 Capacidade do processo

É comum utilizar o controlo estatístico para controlar um processo e realizar estudos de capacidade de processo para aferir se o processo se encontra com o *output* esperado [27].

Um estudo de capacidade de processo implica o uso de índices de capacidade [28]. Estes são ferramentas numéricas que permitem mostrar como está o produto em relação à qualidade pretendida [29]. Os índices de capacidade mais comuns são:

- **Índice C_p** – este indicador avalia se o produto se encontra entre o Limite de Especificação Inferior (LEI) e o Limite de Especificação Superior (LES) e é calculado da seguinte maneira [30]

$$C_p = \frac{LES-LEI}{6\sigma}. \quad (1)$$

- **Índice C_{pk}** – este indicador foi introduzido para dar alguma influência ao valor da média. É a distância da média (\bar{x}) ao limite de especificação mais próximo, e calculado da seguinte forma [30]

$$C_{pk} = \frac{\min(LES-\bar{x}; \bar{x}-LEI)}{3\sigma}. \quad (2)$$

Normalmente, quando estes valores são inferiores a um, a capacidade do processo é insuficiente [31].

2.2.2.2 *Parâmetros do processo*

De forma a garantir que um processo esteja dentro das especificações desejadas é necessário controlar os seus parâmetros de processo. Ao encontrar valores ideais para estes parâmetros, não só se garante a produção de peças de qualidade como também a rentabilidade do processo.

Existem parâmetros de processo que dependem das características específicas do equipamento e por isso não são fáceis de ajustar durante o processo. Exemplos destes parâmetros são muito específicos, pois cada processo tem o seu próprio equipamento associado. Por outro lado, há parâmetros do processo que são mais fáceis de ajustar durante o processo, e os três principais que estão associados a praticamente todos os processos são:

- **Velocidade** – a velocidade pode estar envolvida em várias etapas de um processo, desde a velocidade de corte à velocidade de um tapete rolante na deslocação de materiais;
- **Pressão** – a pressão está muitas vezes associada a processos de moldagem, pois é a pressão que permite a conformação das peças. Apesar de por vezes passar despercebida em muitos processos, a pressão está praticamente presente em todos os processos. Por exemplo, num processo de pintura, a pressão com que a tinta é projetada para as peças é fundamental;
- **Temperatura** – a temperatura é uns dos parâmetros mais importantes num processo, pois há materiais que apenas a certas temperaturas desencadeiam ligações químicas para assim apresentarem propriedades ideais para um processo. Por vezes na indústria existem temperaturas elevadas de maneira a

umentar a cadência de produção, mas este aumento pode não dar tempo suficiente para as reações químicas dos materiais se desencadearem e, portanto, o processo é insuficiente. Um aspeto fundamental da temperatura é afetar e controlar outros parâmetros, como a humidade.

Para controlar estes parâmetros é necessário a sua medição ao longo do processo. Consoante o parâmetro existem aparelhos que estão desenhados para medir e registar os seus valores. Para o caso da velocidade existem sensores para medir tanto a velocidade rotacional como a linear, enquanto para a pressão existem manómetros e para a temperatura termómetros. Hoje em dia, com o avanço tecnológico existe uma panóplia de aparelhos com funcionalidades específicas para cada processo.

2.2.3 Técnicas de melhoria de processos

Com a necessidade de melhorar processos foram surgindo naturalmente técnicas de melhoria de processos. Estas técnicas foram ao longo do tempo estudados de maneira a ficarem normalizadas e assim poderem ser aplicadas de forma padronizada em toda a indústria. Nos capítulos a seguir irão ser referidas as técnicas mais significativas.

2.2.3.1 *Brainstorming*

O *brainstorming* é um método desenvolvido por Alex Osborn, que consiste na discussão de ideias como forma de inspirar a criatividade e o pensamento [32]. Este método começa com um grupo de pessoas, o mais diverso possível, que propõem ideias relevantes para o tema.

Várias são as características deste método, tais como:

- Várias maneiras de pensar;
- Eliminar pensamentos convencionais;
- Associar vários conceitos;
- Alargar fronteiras de conhecimento;
- Procura de resolução do problema.

Na Figura 9 estão destacadas cinco grandes etapas do *brainstorming* [33, 34]:

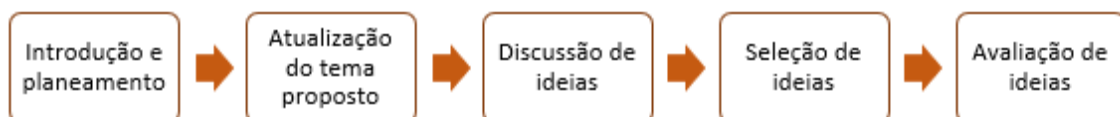


Figura 9 - Etapas do *brainstorming* (adaptado de [33, 34])

2.2.3.2 *DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control)*

DMAIC, em português Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar, é um processo de melhoria inserido na metodologia Seis Sigma que se concentra na compreensão das

causas de um problema antes de lhe aplicar soluções [35]. Esta metodologia permite melhorar processos e reduzir o desperdício e a variação dos processos [36].

Este método é constituído por cinco fases, que se apresentam descritas sucintamente na Figura 10 [35].

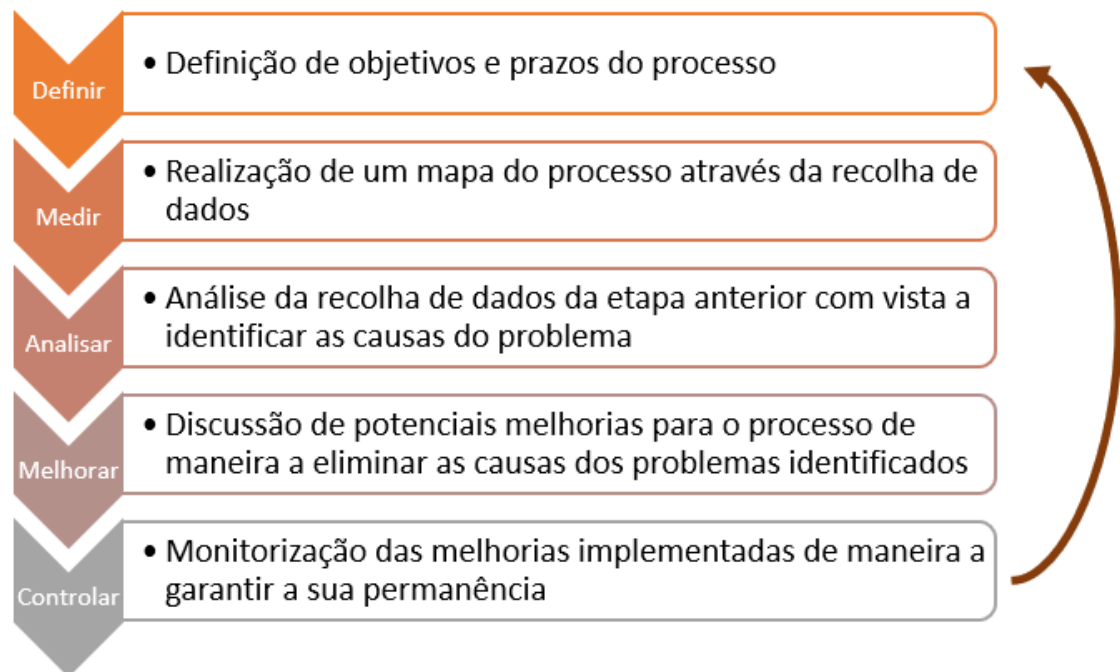


Figura 10 - Etapas do DMAIC (adaptado de [35])

2.2.3.3 Value Stream Mapping

Value Stream Mapping (VSM) é uma ferramenta de visualização de processo que mapeia os fluxos de material e informação de todos os intervenientes, ajudando assim a identificar desperdícios e as suas fontes [37, 38].

O VSM é uma ferramenta que apresenta benefícios como interligar pessoas e ferramentas e facilitar a comunicação entre a gestão e o chão de fábrica. Porém, esta ferramenta fornece uma imagem visual instantânea do processo, o que pode induzir em erro se o processo for muito variável, pois torna-se difícil de prever a eficácia das melhorias de processo [37, 38].

Existem símbolos próprios para a produção de um VSM, e alguns deles estão representados na Figura 11, que representa um exemplo da aplicação desta ferramenta.

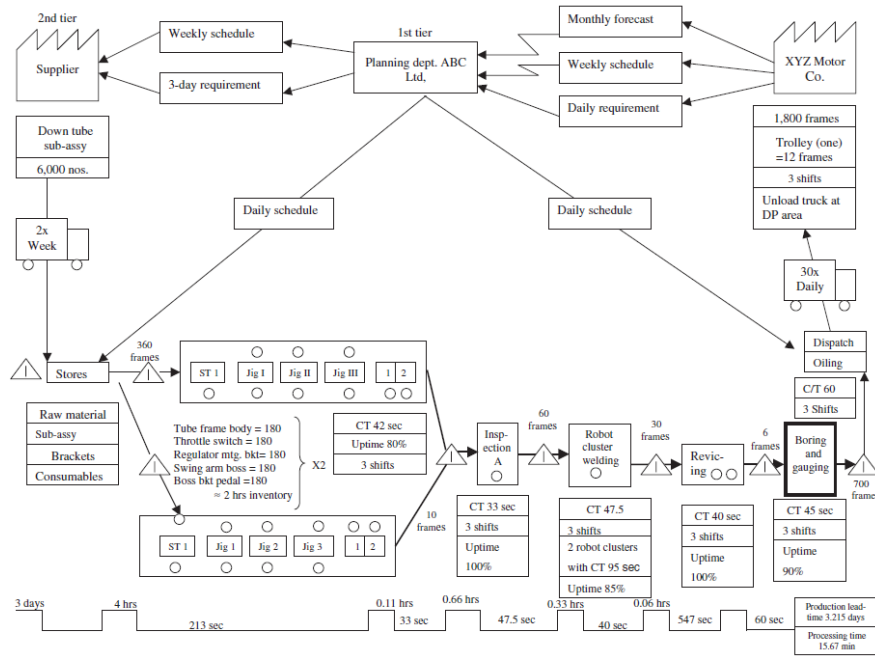


Figura 11 - Exemplo de um VSM para a indústria automóvel [37]

2.2.3.4 5 Why

5 Why é uma técnica desenvolvida por Taichi Ohno que consiste em repetir várias vezes a pergunta “porquê” de maneira a chegar à causa de um problema e assim corrigi-la. Cada resposta a uma pergunta normalmente leva a outra pergunta, e assim sucessivamente, até a causa de o problema estar encontrada. O método chama-se 5 Why mas o número de perguntas pode ser maior ou menor que cinco [39-41]. Este é um método para problemas mais simples e moderadamente difíceis. Problemas mais complexos devem ter uma análise mais detalhada, pois este método apesar de ter uma análise profunda não tem uma análise ampla [40].

Na Figura 12 estão exemplificadas cinco perguntas que normalmente se utilizam.



Figura 12 - Cinco perguntas frequentes no método 5 Why (adaptado de [41])

2.2.3.5 Análise SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats)

A análise SWOT foi introduzida nos anos sessenta e desde aí tem sido uma ferramenta muito popular na gestão. É uma análise que permite avaliar o estado de uma organização assim como as suas perspetivas futuras [42].

SWOT significa: S – forças (*strengths*), W – fraquezas (*weaknesses*), O – oportunidades (*opportunities*), T – ameaças (*threats*), e é possível separar estes quatro fatores em dois grupos: SW, que se focam nos recursos e capacidades internas, e OT, que se focam no ambiente exterior à organização. A nível de influência, SO representa os fatores positivos que aumentam a probabilidade de uma organização ter sucesso e WT os que têm um impacto negativo na estratégia da organização [42, 43].

Com base no quadro SWOT (exemplo representado na Figura 13) são tomadas decisões para minimizar os fatores negativos e potenciar os positivos.

		Fatores positivos	Fatores negativos
Fatores	internos	<p>Strengths – Forças</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vantagens internas; • Recursos valiosos; • Atributos valiosos. 	<p>Weaknesses – Fraquezas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desvantagens internas; • Aspectos negativos.
	externos	<p>Opportunities – Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aspectos externos que depois de explorados permitem o crescimento da organização. 	<p>Threats – Ameaças</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aspectos negativos externos que reduzem a probabilidade de sucesso.

Figura 13 - Representação esquemática de uma análise SWOT (adaptado de [42, 43])

No entanto, esta técnica tem os seus pontos fracos no que toca a solidez técnica e utilidade prática, como por exemplo [44]:

- Subjetividade na definição dos vários fatores;
- Falta de validação empírica;
- Não responde atempadamente num ambiente de rápida mudança;
- Falta de medidas a aplicar;
- É uma análise momentânea da organização, pelo que num ambiente volátil os vários fatores podem perder rapidamente a validade.

2.2.3.6 Análise FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

A Análise do Modo de Falha (FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*) é um método sistemático, qualitativo e analítico com o objetivo de [45-47]:

- Reconhecer e avaliar potenciais riscos de falhas de produtos ou processos;
- Analisar as causas e os seus efeitos dessas falhas;
- Documentar ações de prevenção e detenção de falhas;
- Recomendar ações para reduzir o risco de falhas.

Um dos aspetos mais importantes desta ferramenta é ela atuar antes de a falha ocorrer e assim funcionar como uma ferramenta preventiva.

Esta ferramenta complementa-se com a Análise Crítica (CA – *Criticality Analysis*), formando assim a Análise dos Modos, Efeitos e Crítica da falha (FMECA – *Failure Modes, Effects and Criticaly Analysis*). Inicialmente, a FMEA avalia os modos de falha e os seus efeitos, e de seguida a CA prioriza as falhas com base em três fatores (severidade (S), ocorrência (O) e deteção (D) [48].

Cada falha é estimada com um valor de 0 a 10 a nível de S, O e D. Com o produto destes três valores é obtido o *Risk Priority Number* (RPN) que classifica os Potenciais Modos de Falha (PMF) e ajuda a tomar a decisão sobre o risco de falha [49].

Apesar de ser uma ferramenta útil, a análise FMEA também acarreta as suas desvantagens:

- O valor de RPN pode ter a mesma classificação com diferentes valores de S, O e D;
- É um método qualitativo (subjetivo);
- Depende do conhecimento da equipa e do seu critério na classificação dos fatores;
- Tem a capacidade de se focar apenas numa falha.

A implementação desta técnica representa-se em sete passos (Figura 14):

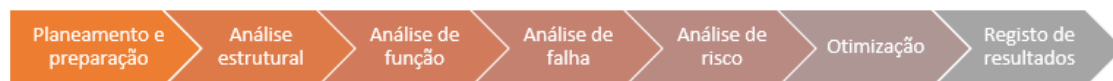


Figura 14 - Passos para a aplicação de uma análise FMEA (adaptado de [47])

2.2.3.7 Metodologia 5S

A metodologia 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu e Shitsuke) foi implementada pela primeira vez no Japão [50] e hoje em dia é umas das ferramentas mais comuns na indústria [51, 52]. 5S é um acrónimo que em português significa: Selecionar, Organizar, Limpar, Padronizar e Manter.

Esta metodologia tem o objetivo de melhorar a eficiência, a produtividade e a qualidade de um produto ou processo, ao tornar o local de trabalho mais limpo e organizado e ao reduzir desperdícios e tempos que não acrescentam valor ao produto final [50-53]. Um ponto muito importante também, é que esta metodologia se estende desde os operadores até à máxima chefia [53].

Na Figura 15 a metodologia é detalhada ponto a ponto.

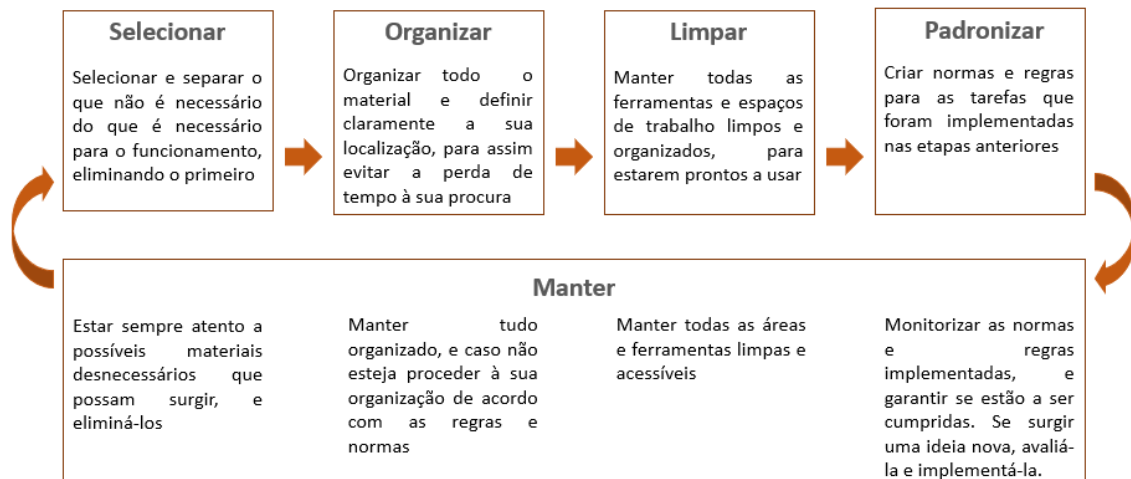


Figura 15 - Metodologia 5S (elaboração própria)

2.2.3.8 Desenho de Experiências

Desenho de Experiências, em inglês *Design of Experiments* (DOE), não é um conceito novo e Ronald Fisher já aplicava este modelo na agricultura em 1920 [54].

DOE é um processo sistemático que analisa a relação entre fatores que afetam o processo e o resultado desse processo [55]. É uma ferramenta polivalente que pode ser utilizada em várias situações tais como comparações, rastreio de variáveis e otimizações [56].

Em qualquer experiência existem fatores controláveis e fatores não controláveis, e o objetivo de um DOE é manipular os fatores controláveis (variáveis de entrada) de maneira a investigar os efeitos nos resultados [55, 56].

É importante que, antes de se realizar uma experiência, se esclareçam bem as questões que esta pretende responder, pois quanto mais fatores existirem maior é o número de experiências a realizar, o que invariavelmente se traduz num aumento de custos e de tempo. Ao avaliar os efeitos dos fatores, deve-se considerar não só a magnitude dos efeitos, mas também a sua direção, pois esta determina de que forma os fatores devem ser ajustados de modo a melhorar o resultado do processo [57].

Para realizar uma experiência é necessário [56]:

1. Definir os objetivos – lista dos problemas que vão ser analisados;
2. Definição da variável de resposta – resultado da experiência que se baseia nos objetivos definidos;
3. Definir as variáveis de entrada – fatores possíveis de controlar;
4. Definir os níveis de cada fator – quantidade de hipóteses a analisar para cada fator;
5. Escolher o tipo de *design* que é pretendido;

6. Realizar a experiência selecionando a matriz mais adequada. A seleção da matriz decide a quantidade de experiências a realizar e que valores vai assumir cada variável em cada experiência.

A escolha do *design* depende do número de experiências a realizar, da capacidade financeira e do tempo disponível. Assim existem três principais tipos de *designs* [55]:

- **One-factor-at-a-time design** – é a maneira mais simples de analisar o efeito de vários fatores, alterando um deles e mantendo os outros constantes. Porém, este *design* não permite a interação de diferentes fatores. Na Figura 16 está uma matriz com o exemplo deste *design*. O objetivo é estudar a zona afetada pelo calor (HAZ – *Heat Affected Zone*) em operações de perfuração de descargas eletroquímicas ao fixar todas as variáveis exceto uma;

Trial No.	Electrolyte concentration (wt%)	Inter-electrode gap (mm)	Applied voltage (V)	HAZ (mm)
1	20	40	40	0.0697
2	20	40	45	0.0923
3	20	40	50	0.1270
4	20	70	40	0.0741
5	20	70	45	0.1015
6	20	70	50	0.1409
7	20	100	40	0.0758
8	20	100	45	0.1127
9	20	100	50	0.1397
10	25	40	40	0.0888
11	25	40	45	0.1095
12	25	40	50	0.1190
13	25	70	40	0.0877
14	25	70	45	0.1055
15	25	70	50	0.1151
16	25	100	40	0.0644
17	25	100	45	0.1037
18	25	100	50	0.1170
19	30	40	40	0.0930
20	30	40	45	0.1103
21	30	40	50	0.1174
22	30	70	40	0.0843
23	30	70	45	0.1000
24	30	70	50	0.1159
25	30	100	40	0.0802
26	30	100	45	0.1011
27	30	100	50	0.1136

Figura 16 - Modelação e previsão da zona afetada pelo calor em operações de perfuração de descargas eletroquímicas através de uma matriz *one-factor-at-time* [58]

- **Full factorial design** – avalia todas as combinações possíveis de fatores e assim contorna o problema da interação do *design* anterior. O seu maior benefício é recolher toda a informação, mas este *design* só é acessível para um baixo número de fatores. Uma maneira de abordar este *design* e saber o número de experiências a realizar é através de N^K , em que N é o número de níveis e K o número de fatores. Na Figura 17 encontra-se um exemplo de uma matriz com este *design* na indústria química com dois níveis (1 e -1) e quatro fatores (A, B, C e D). No final o número de experiências a realizar é de 2^4 , ou seja 16.

Run order	A	B	C	D	Mean size (nm)	SD
1	1	-1	-1	-1	389	61
2	1	-1	-1	-1	325	21
3	-1	1	-1	-1	694	64
4	1	1	-1	-1	337	12
5	-1	-1	1	-1	547	44
6	1	-1	1	-1	386	16
7	-1	1	1	-1	1,024	58
8	1	1	1	-1	370	4
9	-1	-1	-1	1	427	53
10	1	-1	-1	1	368	24
11	-1	1	-1	1	483	9
12	1	1	-1	1	372	53
13	-1	-1	1	1	374	19
14	1	-1	1	1	334	30
15	-1	1	1	1	899	163
16	1	1	1	1	692	118

Figura 17 – Exemplo de *full factorial design* na indústria química [59]

- **Fractional factorial design** – Como o número dos efeitos significativos é relativamente pequeno, não é necessário analisar todas as combinações, mas apenas aquelas com mais significado. Este é o *design* mais eficiente, mas a seleção das combinações mais relevantes deve ser cuidada para não fugir ao objetivo da experiência. Um tipo deste *design* muito utilizado em DOE é o método de Taguchi, que seleciona as experiências mais revelantes e cria uma matriz ortogonal. Na Figura 18 está um exemplo da utilização desta matriz numa experiência sobre a resistência de juntas adesivas.

Test no.	σ_{ys} (MPa)	t_s (mm)	t_a (mm)	l (mm)	U_T (MPa)	S_T	F_L experim.		F_L (Adams and Savies [2])		% error
							(kN)	Mode	(kN)	Criterion	
1	184	1	0.1	12.5	9.00	A1	5.18	Int/Plas	3.30	PS	36.3
2	184	1	0.2	25	0.49	A2	3.57	Int/Plas	4.59	PS	28.6
3	184	1	0.5	50	3.36	P	6.83	Int/Plas	4.59	PS	32.8
4	184	1.5	0.1	12.5	0.49	A2	3.58	Int	3.88	PS	8.4
5	184	1.5	0.2	25	3.36	P	8.55	Int/Plas	6.03	PS	29.5
6	184	1.5	0.5	50	9.00	A1	9.37	Int/Plas	6.89	PS	26.5
7	184	2	0.1	25	9.00	P	10.00	Coh/Plas	6.60	PS	34.0
8	184	2	0.2	50	0.49	A1	12.08	Int/Plas	9.19	PS	23.9
9	184	2	0.5	12.5	3.36	A2	3.47	Int	4.45	PS	28.1
10	1260	1	0.1	50	3.36	A2	6.56	Int	43.75	GY	567.0
11	1260	1	0.2	12.5	9.00	P	7.97	Coh	5.63	GY	29.4
12	1260	1	0.5	25	0.49	A1	4.84	Int	15.63	GY	222.9
13	1260	1.5	0.1	25	3.36	A1	16.05	Int	21.88	GY	36.3
14	1260	1.5	0.2	50	9.00	A2	24.25	Mix	22.50	GY	7.2
15	1260	1.5	0.5	12.5	0.49	P	5.95	Coh	7.81	GY	31.2
16	1260	2	0.1	50	0.49	P	15.37	Coh	31.25	GY	103.3
17	1260	2	0.2	12.5	3.36	A1	11.91	Int	10.94	GY	8.2
18	1260	2	0.5	25	9.00	A2	13.74	Mix	11.25	GY	18.1

Figura 18 - Experiência sobre a resistência de juntas adesivas com base na matriz ortogonal de Taguchi [60]

Existem ainda três princípios fundamentais que devem ser sempre considerados para realizar um bom DOE, que são: replicação e *blocking*, que aumentam a precisão da experiência, e aleatoriedade, que reduz o desvio [55]:

- **Replicação** – o mesmo tratamento é aplicado várias vezes à mesma experiência;

- **Aleatoriedade** – o objetivo é diminuir os efeitos de todas as variáveis estranhas e não controláveis;
- **Blocking** – é uma parte experiência que é mais suscetível de ser homogênea dentro de si do que com outras unidades.

No final, é realizada uma Análise de Variância (ANOVA) para analisar a interação e a influência nos resultados dos vários fatores.

2.2.4 Estado-da-arte da melhoria de processos

Na Tabela 3 encontram-se, de forma resumida, alguns trabalhos e projetos nos quais foram aplicadas técnicas de melhoria de processos para melhorar o seu desempenho.

Tabela 3 - Compilação de trabalhos com a aplicação de técnicas de melhoria de processos

Referências bibliográficas	Descrição do trabalho
Rodrigues et al. [61]	Este artigo desenvolveu uma aplicação informática para resolver a má gestão dos relatórios de desperdício que existiam numa empresa da indústria automóvel. Para a criação da aplicação informática recorreu-se ao <i>brainstorming</i> envolvendo trabalhadores de vários setores da empresa, e para perceber a origem do problema recorreu-se à ferramenta <i>5 Why</i> . Foi possível aumentar a fiabilidade dos relatórios de desperdício em 76% e reduzir o custo e tempo associados em 75%.
Barbosa et al. [62]	Este trabalho foi desenvolvido numa indústria de pneus com o objetivo de melhorar o desempenho e a taxa de qualidade da produção de pneus. Foi aplicado o método DMAIC na análise do processo, o que permitiu uma análise estruturada e a identificação de possíveis causas de problemas no processo. Foi possível encontrar valores ideais de velocidade e temperatura para a produção de pneus, o que permitiu aumentar a sua taxa de qualidade em 41%.
Rosa et al. [63]	Este estudo focou-se na indústria automóvel, que requer um aumento sistemático de produção sem grandes investimentos. A única forma de elevar a produtividade sem grandes investimentos é melhorar os processos já existentes através de, por exemplo, a eliminação de desperdício. Com recurso à ferramenta VSM foi possível mapear todos os processos de maneira a identificar a área mais crítica, que era a linha de montagem de produção de cabos para os mecanismos de abertura de portas. Depois de identificada, foram aplicadas técnicas <i>Lean</i> de maneira a promover a melhoria de processos nos seus equipamentos resultando num aumento de produção em 41%.

Shang et al. [64]

Este trabalho concentrou-se no desenvolvimento sustentável do ecoturismo rural numa aldeia chinesa. Com o aumento da população em zonas urbanas, cada vez há mais procura de habitação rural, pelo que é necessário assegurar o desenvolvimento do ecoturismo rural. Através de um questionário e com recurso à análise SWOT, foi possível perceber que esta aldeia tinha: (1) quatro forças: localização geográfica, bons meios de transporte, abundante em recursos naturais e diversificada biologicamente e culturalmente; (2) três fraquezas: homogénea turisticamente, temas culturais ambíguos e mão-de-obra pouco qualificada; (3) três oportunidades: apoio do governo, combinação da cultura local com as atividades turísticas, aumento da procura turística; e (4) duas ameaças: concorrência por parte das aldeias vizinhas e exigência diversificada por parte dos turistas. Foi possível perceber que as forças e oportunidades eram superiores às fraquezas e ameaças, concluiu-se que o desenvolvimento era sustentável e foram implementadas três estratégias: (a) encorajar os habitantes na construção de ecoturismo; (b) destacar a temática da cultura local; (c) proteger a ecologia e a construção de infraestruturas.

Garcia et al.
[49]

O estudo estabeleceu uma relação entre FMEA e *Pythagorean Fuzzy Dimensional Analysis* (PFDA) para ajudar a identificar riscos no processo de conceção de um novo produto para o mercado. Foi aplicado FMEA para recolher e organizar os principais PMF do processo e de seguida PFDA ajudou a minimizar o erro humano nas classificações de S, O e D. Assim, considerou-se que PFDA-FMEA é uma metodologia integrada que apoia a conceção do produto ao minimizar a incerteza da classificação e priorização sobre a execução da FMEA, colocando a confiança nesta ferramenta em 99,24%.

Santos et al.
[65]

Este trabalho foi desenvolvido numa multinacional que tem como função a produção de pneus para a indústria automóvel, cujo processo de fabrico é complexo e com várias etapas. Na etapa de preparação, que envolve a produção do talão do pneu, verificou-se uma incidência excessiva de falhas no sistema pneumático, que tornava difícil de controlar as velocidades e posicionamentos, e conseqüentemente aumentava o custo de produção. Assim, processos como o movimento de transporte entre os processos de corte e aplicação, o processo de corte e o processo de separação foram automatizados recorrendo à metodologia 5S. Através desta implementação, foi possível diminuir os tempos de paragem em 62% e aumentar a produtividade da etapa de preparação em 9%.

O objetivo deste trabalho consistiu em reduzir o desperdício gerado na produção de peças por fundição para a indústria automóvel. Foram determinados os parâmetros de processo que eram responsáveis pelo desperdício. Com estes parâmetros foi executado um DOE com recurso a *software* e, para estudar o significado entre os parâmetros, aplicou-se uma análise ANOVA. Desta forma, foram encontrados os valores ideais dos parâmetros do processo de maneira a produzir uma ótima fundição, e assim reduzir o desperdício de 14% para 9%.

2.3 Qualidade na indústria

O objetivo das empresas hoje em dia é produzir bens e serviços a um preço reduzido, mantendo a qualidade e a competitividade no mercado ao satisfazer as necessidades dos clientes [67]. A última versão da norma ISO 9001 indica sete princípios de qualidade (Figura 19) que podem ser adotados na indústria como base para uma política de qualidade [68].



Figura 19 - Sete princípios de qualidade na indústria (adaptado de [68])

2.3.1 Conceito de qualidade

A qualidade não é um conceito moderno, uma vez que já é utilizado ao longo dos tempos e atravessou diferentes civilizações. Por exemplo, os primeiros seres humanos tinham que distinguir o que era comestível do que não era, assim como os primeiros caçadores selecionavam as ferramentas mais adequadas [69].

Apesar de não ser um conceito recente, a qualidade não é um conceito fácil de definir, principalmente por duas razões [69]:

- É um conceito relativo;
- É usado em vários contextos.

Por não ser um conceito único, Green [70] refere cinco abordagens para o conceito de qualidade, representadas na Figura 20, e detalhadas de seguida.

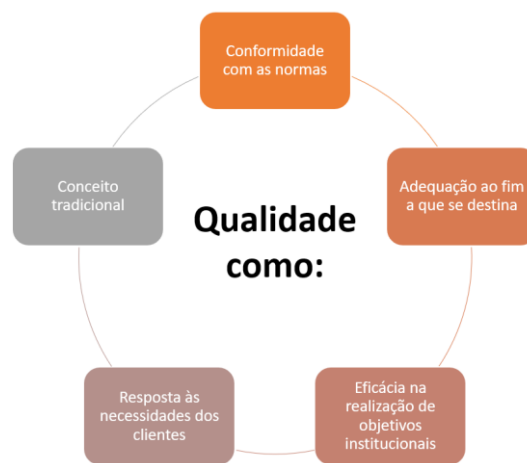


Figura 20 - Conceitos de qualidade (adaptado de [70])

Conceito tradicional

Esta abordagem considera a qualidade como o fornecimento de um produto ou serviço que é distinto e exclusivo, oferecendo um estatuto superior ao utilizador. São estabelecidos padrões extremamente elevados de produção, entrega e apresentação que só podem ser atingidos através de elevados custos ou com a utilização de recursos escassos, colocando os produtos fabricados fora de alcance da maior parte da população.

Um exemplo desta abordagem é a marca de carros Rolls Royce, que produz modelos de elevado custo, exclusivos e apenas acessíveis a uma pequena parte da população.

Conformidade com as normas

Esta definição considera que a qualidade de um produto ou serviço é medida em termos da sua conformidade para com as normas, em que “normas” são uma base de medição ou um termo neutro para descrever uma característica necessária de um produto ou serviço. O controlo de qualidade neste contexto está relacionado com testar o produto ou serviço para verificar se este cumpre com as normas, e se não cumprir rejeitá-lo.

Esta abordagem tem uma vantagem em relação à anterior, pois todas as organizações podem ambicionar a qualidade, mesmo que não produzam produtos ou serviços exclusivos. É possível um Rolls Royce ter uma pobre qualidade e um Mini com elevada qualidade.

Adequação ao fim a que se destina

Esta abordagem afirma que a qualidade não tem qualquer significado, exceto em relação à finalidade do produto ou serviço, e é avaliada na medida em que o produto ou serviço cumpre ou não o objetivo a que se propôs.

Esta definição fornece um modelo para determinar qual deve ser a especificação de um produto ou serviço de qualidade e apresenta a vantagem de reconhecer que os seus objetivos podem mudar com o tempo, exigindo assim uma constante reavaliação da adequação da especificação.

Eficácia na realização dos objetivos institucionais

Esta abordagem é uma versão do modelo anterior, que se concentra na avaliação da qualidade. Cada instituição tem as suas normas e definições de qualidade, e uma instituição de alta qualidade é aquela que afirma claramente qual é o seu foco, sendo eficiente e eficaz no cumprimento dos objetivos a que se propôs.

Resposta às necessidades dos clientes

Esta definição trata das necessidades dos clientes e salienta a importância de saber quem são os clientes, quais as suas necessidades e como satisfazê-las. Também refere que a qualidade é fundamental para o funcionamento do mercado, pois os clientes requerem informação fiável sobre o produto que procuram.

2.3.2 Ferramentas da qualidade

A qualidade consistente não surge por coincidência, mas sim através da aplicação de ferramentas e técnicas de qualidade [71]. Estas ferramentas podem ser usadas em todas as fases do processo, desde o seu planeamento até ao serviço pós-venda [72]. A sua adoção assegura a conformidade com as especificações de um produto e melhora os seus processos, reduzindo o desperdício [73]. Assim, a prática destas ferramentas é um fator crítico de sucesso e as mais revelantes irão ser aprofundadas nos capítulos a seguir.

2.3.2.1 Fluxogramas









Um fluxograma é uma representação gráfica de uma sequência de atividades que cria, produz ou fornece um produto ou serviço [74]. Esta é uma ferramenta que ajuda a registar com eficácia os detalhes de uma atividade e fornece informações para ajudar a visualizar oportunidades de melhoria [75].

Apresentam-se de seguida três razões para utilizar esta ferramenta [74]:

- É possível restringir uma parte do processo para assim esclarecer e simplificar o processo no seu todo;
- Distingue atividades que criam valor das que não criam;
- Torna visível os tipos de desperdício numa atividade.

Na Tabela 4 encontram-se os símbolos mais utilizados na construção de um fluxograma [76].

Tabela 4 - Símbolos típicos num fluxograma [76]

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
	Atividade		Documentos
	Inspeção		Movimentação
	Tempo de espera		Armazenamento
	Início ou fim		Decisão

Na Figura 21 está esquematizado um fluxograma do cálculo do algoritmo de uma bomba de calor. Este é um exemplo simples, mas os fluxogramas também têm a capacidade de representar processos de bastante complexidade.

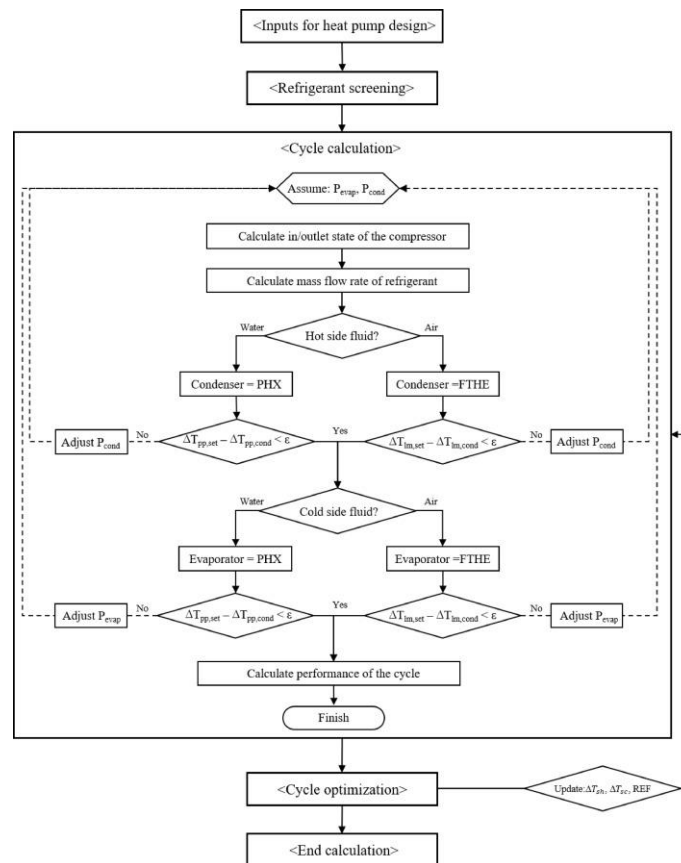


Figura 21 - Fluxograma do cálculo do algoritmo de uma bomba de calor [77]

2.3.2.2 Formulário de recolha de dados

Folhas de verificação são uma ferramenta que permite recolher e analisar dados de uma forma estruturada [78]. Os dados recolhidos têm de ser classificados para assim ajudar a obter um conhecimento preliminar, de maneira a que seja possível planear uma análise do processo mais aprofundada a fim de atingir os objetivos propostos [79].

As principais vantagens de utilizar o formulário de recolha de dados são [80]:

- Fácil de aplicar e compreender;
- Fornece uma imagem clara do estado e condição da organização;
- É uma ferramenta eficiente na identificação de problemas frequentes.

A Figura 22 representa uma folha de manutenção preventiva numa indústria de produção de semicondutores. Folhas semelhantes a esta podem ser encontradas nas mais diversas aplicações. Por exemplo, uma frequentemente utilizada e bastante conhecida é na manutenção de veículos.

No	Items	Maintenance Action	Duration (date)				Remarks
			Weeks				
			1	2	3	4	
Critical items							
1	Motor	i. Check all motors					
2	Pump	i. Check condition of all Hollmuller pumps					
		ii. Check condition of all Assomma pumps					
		iii. Check all chemical pumps					
3	Conveyor gear	i. Check the condition of roller and chain					
Non-critical items							
4	Piping	i. Check all piping for any leakage					
		ii. Check CDA piping					
5	Nozzle	i. Change if nozzle broken					
		ii. Properly fixed after change					
6	Filter or strainer	i. Check condition for all filters and strainer					
		ii. No leaking after fixed					
		iii. Check exhaust scrubber ducting					
		iv. Check rinsing filter, change if any corrosion					
7	Main panel box	i. Check the parameter shown in panel box					
		ii. Check aqua control					
8	Oscillators	i. If the oscillator malfunction, change it					
Done by: _____ Date: _____ (Maintenance personnel)							
Verified by: _____ Date: _____ (Engineer/Supervisor)							

Figura 22 - Folha de manutenção de uma máquina crítica de produção de semicondutores [81]

2.3.2.3 Diagramas de causa-efeito

Um dos maiores desafios quando surge um problema é identificar a sua causa, para assim o poder corrigir [78], e uma ferramenta da qualidade com esta função é o Diagrama de causa-efeito, também conhecido como Diagrama de Ishikawa, graças ao seu criador, e Diagrama de Espinha de Peixe, devido à sua forma esquemática. Esta ferramenta demonstra a relação entre todos os fatores (causas) que conduzem a uma dada situação (efeitos) [25]. O problema é colocado com uma seta na horizontal, que é a “espinha dorsal” do peixe, e de seguida traçam-se linhas diagonais, que representam as principais possíveis causas. Por sua vez, estas subdividem-se em espinhas mais pequenas, que simbolizam as causas secundárias [82]. Um exemplo deste esquema está representado na Figura 23. Quando se desenha o diagrama, deve ficar bem claro porque é que o problema existe, o que é que tem mais influência na causa do problema e sugerir algumas ideias para corrigir o problema. Desta forma, o diagrama torna-se uma ferramenta versátil, visual e fácil de entender construir, usar e discutir [78].

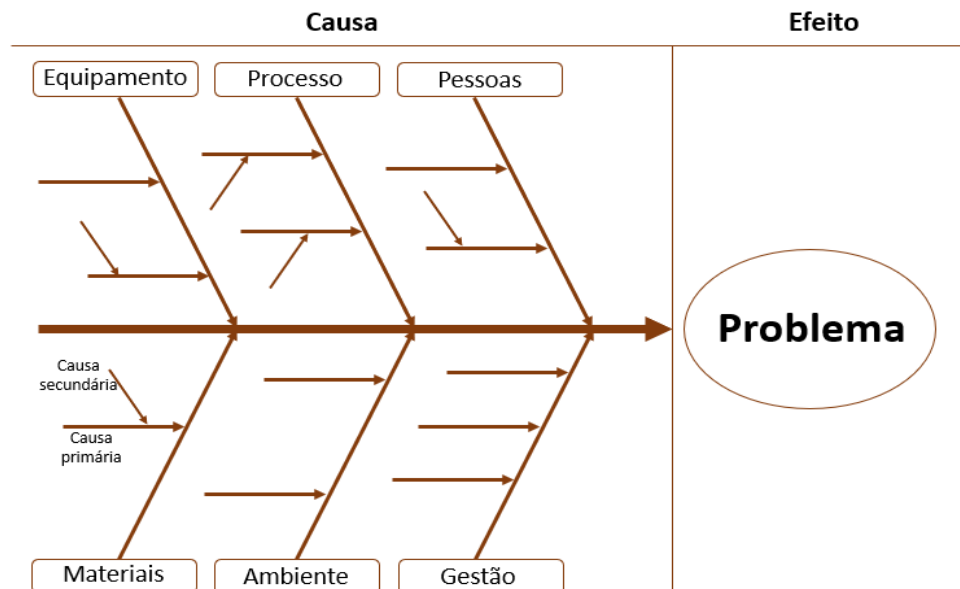


Figura 23 - Diagrama de causa-efeito (adaptado de [78])

2.3.2.4 Diagramas de Pareto

A análise de Pareto é uma técnica de resolução de problemas que prioriza quais as causas de um problema devem ser tratadas em primeiro lugar [83]. A ideia principal desta técnica é que 80% dos problemas surgem de 20% das causas, seguindo a regra 80/20 idealizada por Vilfredo Pareto no século XIX [83].

O diagrama de Pareto é um gráfico de barras em que o eixo vertical esquerdo é a frequência de ocorrência de um defeito, o eixo vertical direito é a percentagem acumulada do número total de ocorrências e o eixo horizontal são as categorias de defeitos ordenadas pela quantidade de ocorrência da esquerda para a direita. Encontra-se representado um exemplo deste diagrama na Figura 24 [78, 84].

Esta ferramenta destaca os fatores mais importantes, prioriza os defeitos e foca-se nas soluções que proporcionam a maior relação custo-benefício.

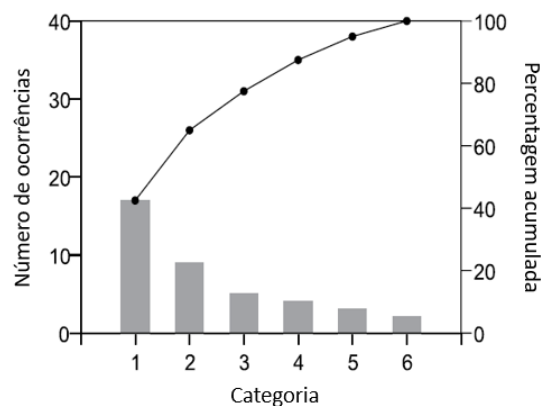


Figura 24 - Diagrama de Pareto [84]

2.3.2.5 Histogramas

O histograma é uma ferramenta visual que mostra a distribuição de uma variável num diagrama semelhante a um gráfico de barras, embora com uma diferença: nos gráficos de barras as barras estão divididas por categorias e espaçadas, enquanto os histogramas usam dados contínuos e as barras não têm espaçamento [78, 85]. O histograma é útil na análise de dados para entender a sua distribuição e assim permitir comparar a informação do histograma com outros atributos, como por exemplo o número de erros baseado no período de tempo que ocorrem [78]. Como os histogramas são uma ferramenta visual, é facilitada a análise de dados e encorajada a discussão entre a operação e a gestão. Na Figura 25 estão representadas algumas formas (padrões) que os histogramas podem apresentar, seguindo-se uma breve explicação para cada forma.



Figura 25 - Diferentes formas de histogramas: simétrico (a); desviado à esquerda (b); desviado à direita (c); bimodal (d); multimodal (e) (adaptado de [78])

Histograma simétrico (Figura 25 a)

- Também assume o nome de normal ou unimodal, pois normalmente representa uma distribuição normal com a existência de apenas um “pico”.

Histograma desviado à esquerda (Figura 25 b)

- Estes histogramas são assimétricos;
- A frequência dos dados está concentrada nos valores mais altos;
- Pode resultar de existir um valor limite (por exemplo, os valores não poderem ser superiores a 100);
- Histogramas desviados à esquerda são considerados negativamente desviados.

Histograma desviado à direita (Figura 25 c)

- Assim como os histogramas desviados à esquerda, estes também são assimétricos;
- A frequência dos dados está concentrada nos valores mais baixos;
- Também pode resultar de existir um valor limite, mas inferior (por exemplo, os valores não poderem ser inferiores a zero);
- Histogramas desviados à direita são considerados positivamente desviados.

Histograma bimodal (Figura 25 d)

- Normalmente apresentam dois “picos”;
- Este tipo de forma normalmente sugere que existem dois tipos de resultados num único histograma.

Histograma multimodal (Figura 25 e)

- Vários processos com distribuições normais, mas de médias diferentes, são combinados num único histograma;
- São caracterizados pela existência de vários “picos”.

2.3.2.6 Diagramas de dispersão

De todas as ferramentas gráficas usadas nos dias de hoje, os diagramas de dispersão são sem dúvida a mais versátil, polimórfica e útil da estatística gráfica [86]. Esta ferramenta também assume o nome de gráfico de dispersão ou gráfico X-Y e consiste numa variável projetada no eixo X e outra no eixo Y [78]. Para além destas duas principais variáveis, ainda podem ser projetadas mais duas no gráfico, o tamanho e a cor dos pontos [87]. Ao analisar os dados, o objetivo é determinar se existe correlação entre as duas variáveis projetadas nos eixos, e existe correlação quando a alteração numa variável afeta a outra. A relação entre duas variáveis tem dois elementos fundamentais [78]:

- **Direção** – se as duas variáveis aumentarem uma com a outra, existe uma correlação positiva. Por outro lado, se uma aumenta e a outra diminui então a correlação é negativa;
- **Intensidade** – este termo está relacionado com a força de relação entre as variáveis, ou seja, com a correlação. Quanto maior a relação entre elas maior será a correlação. Esta varia de +1, correlação muito positiva, a -1, correlação muito negativa. Sempre que a correlação for alta, os pontos tendem a aproximar-se de uma reta. Por outro lado, se a correlação for baixa, ou seja, próxima de 0, os pontos estão muito dispersos.

Na Figura 26 estão alguns exemplos de gráficos de dispersão com diferente correlação.

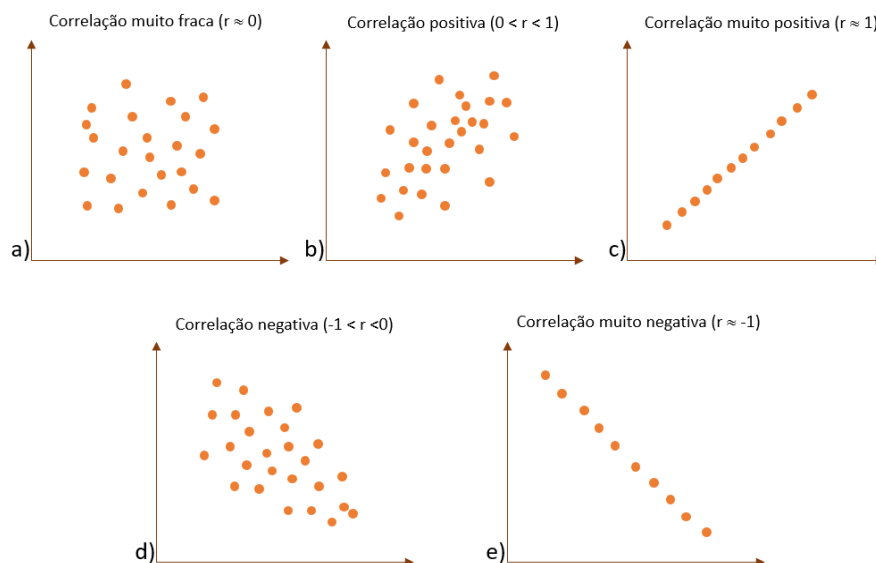


Figura 26 - Gráfico de dispersão com respetiva correlação: correlação muito fraca (a); correlação positiva (b); correlação muito positiva (c); correlação negativa (d); correlação muito negativa (e) (elaboração própria)

2.3.2.7 Cartas de controle

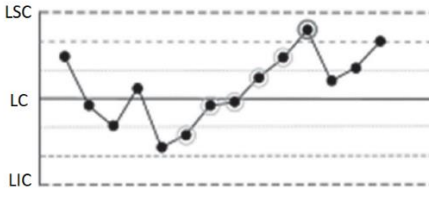
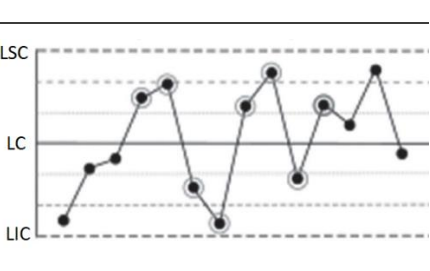
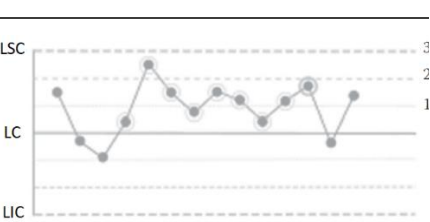
As cartas de controle são usadas para estudar um processo ao longo do tempo através de um gráfico em que o tempo é projetado no eixo horizontal e uma dada característica é projetada no eixo vertical [78, 88].

São compostas por três linhas de controle: a linha central (LC), que é a média, a linha inferior de controle (LIC) e a linha superior de controle (LSC). A LIC e a LSC estão normalmente a três desvios padrões (3σ) abaixo e acima da LC, respectivamente. Também é muito comum denominar zonas entre cada desvio padrão, sendo A a mais longe da LC, B a intermédia e C a mais próxima. Através destas linhas e zonas é possível monitorizar alterações que ocorrem no processo, distinguindo as variações inerentes ao processo e as variações que o afetam.

Existem várias regras que são aplicadas às cartas de controle para identificar anomalias. A Tabela 5 descreve e explica as mais comuns [78].

Tabela 5 - Exemplos de algumas regras aplicadas às cartas de controle (adaptado de [78])

Regra	Explicação	Exemplo
Um ponto fora dos limites de controle (LSC e LIC)	Indica que o limite foi ultrapassado e o produto pode não estar aceitável, ou seja, o processo pode estar fora de controle.	
Dois de três pontos consecutivos na zona A do mesmo lado da LC	A zona A é a mais externa à LC e dois pontos consecutivos sugerem que o processo pode estar fora de controle.	
Quatro em cinco pontos consecutivos do mesmo lado da LC estão na zona A ou B	Indica uma mudança no processo e uma forte tendência para o processo estar fora de controle.	

Seis pontos consecutivos no sentido ascendente ou descendente	Indica uma tendência.	
Oito pontos consecutivos de qualquer lado da LC sem nenhum na zona C	Indica oscilação.	
Nove pontos consecutivos do mesmo lado da LC em qualquer zona	Indica um problema prolongado, por exemplo a máquina estar descalibrada.	

2.3.3 Estado-da-arte de qualidade na indústria

Na literatura que aborda a qualidade, são vários os projetos que fazem uso de ferramentas da qualidade para melhorar o desempenho de organizações. Na Tabela 6 estão descritos resumidamente alguns destes projetos.

Tabela 6 - Compilação de trabalhos com a aplicação das sete ferramentas da qualidade

Referências bibliográficas	Descrição do trabalho
Silva et al. [89]	<p>Este trabalho foi desenvolvido numa indústria de pequena escala de produção de ferramentas e moldes. Esta produção envolve o fabrico de vários componentes, o que acarreta problemas na aquisição de materiais e nos processos de maquinagem. Este trabalho desenvolveu uma ferramenta capaz de reorganizar: (a) as operações de maquinagem, de maneira a agrupar processos parecidos; (b) o tipo de material dos componentes a produzir, agrupando componentes com o mesmo material para facilitar a sua aquisição. Para este efeito, foi desenvolvido um fluxograma em que no início da produção é necessário identificar se existem peças a fabricar com as mesmas características e, se existirem, organizá-las. Com a implementação desta metodologia foi possível reduzir os custos de maquinagem em 5% e aumentar 21% a Eficiência Global do Equipamento.</p>

Breen e Zhang
[90]

Este projeto foi desenvolvido no âmbito de melhorar o planeamento de tratamentos por radioterapia. Com o avanço tecnológico neste tipo de tratamento, a complexidade do seu planeamento aumenta, pois é necessário: (a) delinear a região a tratar e identificar o volume do tratamento; (b) melhorar e avaliar a distribuição de doses; (c) rever o plano com mais atenção sobre a região afetada pelo tratamento e os órgãos em risco; (d) um maior controlo de qualidade do paciente. Foi então desenvolvida uma folha de verificação no âmbito de vários especialistas analisarem as características do planeamento, fazerem uma revisão, compará-lo com valores de tratamento esperados, e finalmente, se não houver nenhum erro, aprovarem o plano. Com a aplicação de folhas de verificação, a taxa de rejeição dos planos de tratamento desceu de 5,9% para 3,1%.

Lopes et al. [91]

O estudo focou-se em eliminar o desperdício que ocorre na produção de tubos de ar condicionado para a indústria automóvel. Foi realizado um diagrama de Pareto para identificar quais os defeitos que causavam maior desperdício e outro para o defeito selecionado, que eram fugas. A linha de produção que produzia tubos com o defeito selecionado foi dividida em duas áreas. Em cada área os problemas eram os seguintes: (1) gerava-se uma grande percentagem de desperdício; (2) baixa produtividade devido à quantidade de desperdício acumulada. Para cada área foi realizado um diagrama de causa-efeito para determinar as potenciais causas do problema, sendo que na primeira eram: máquinas, mão-de-obra, meio ambiente, métodos e material, e na segunda: máquinas, mão-de-obra, meio ambiente e material. Finalmente, foi elaborado um plano de ação que permitiu reduzir o desperdício em 12% e aumentar a produtividade até 55%.

Gentle et al. [92]

O objetivo do trabalho foi manter os níveis de oxigénio dos bebés prematuros nos níveis ideais (90-95%), pois níveis abaixo aumentam o risco de morte e níveis acima aumentam a probabilidade de hiperoxia. Com a monitorização dos níveis de oxigénio através de histogramas foi possível construir cartas de controlo, e assim que os níveis estavam fora de controlo fazer uma intervenção. Com este procedimento, foi possível, nos bebés prematuros com menos de 29 semanas, reduzir a taxa de morte ou hiperoxia de 32,1% para 18,0%.

Este trabalho concentrou-se no revestimento de navios e teve como objetivo melhorar a qualidade do seu processo, assim como reduzir o seu tempo e custo associados. O processo de revestimento de navios é complexo, pois envolve a aplicação de várias camadas de tinta, daí o controlo rigoroso da qualidade de pintura ser fundamental, pois um defeito na aplicação de uma camada vai afetar as camadas seguintes. Foi desenvolvido um gráfico de dispersão em que: (1) dividiu-se o eixo X em 9 partes, representando as diferentes zonas da estrutura do navio a pintar; (2) o eixo Y foi dividido em seis partes, que **Zhang et al. [93]** representam o processo da aplicação das seis camadas de tinta diferentes; (3) são 9 os defeitos mais comuns, então cada parte foi dividida em 9 partes, e cada uma associada a um defeito; (4) por último, utilizaram-se cores diferentes para quantificar o número de defeitos, de tal forma que cores mais claras indicavam menos ocorrências e cores mais escuras indicavam mais ocorrências. Desta maneira, foi possível identificar as partes que tinham mais defeitos e que processos os causou. Com a ajuda dos gráficos de dispersão foi possível aumentar a qualidade do revestimento, diminuir os erros e minimizar o tempo total do processo.

DESENVOLVIMENTO




- 3.1 Apresentação da empresa
- 3.2 Objetivos do trabalho
- 3.3 Descrição da unidade de trituração
- 3.4 Caracterização dos problemas e análise de causas
- 3.5 Implementação de ações de melhoria
- 3.6 Quantificação das melhorias obtidas e indicadores
- 3.7 Análise de custos e retorno do investimento

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Apresentação da empresa

Este trabalho foi desenvolvido numa empresa que é líder mundial no mercado da cortiça. A empresa está dividida em cinco unidades industriais, sendo que cada uma funciona de maneira independente. Na Tabela 7 está uma breve descrição de cada unidade.

Tabela 7 - Descrição das unidades industriais

Unidade industrial	Descrição	Exemplo
Produção de aglomerados de cortiça com borracha	Produz aglomerados de cortiça juntamente com desperdício de borracha proveniente de outras indústrias (por exemplo: pneus e calçado).	
Produção de aglomerados de cortiça	Produz aglomerados unicamente de cortiça sob a forma de blocos ou cilindros, que posteriormente podem ser laminados.	
Aglomerção contínua de cortiça	Produz aglomerados de cortiça de alta densidade, que de seguida são laminados e rebobinados de forma contínua.	

Produção de artigos personalizados de cortiça

Produz artigos personalizados, como bases para tachos, blocos de yoga, entre outros.



Trituração de cortiça

Recebe, tritura e processa cortiça para depois a distribuir pelas outras unidades industriais ou então para exportação.



3.2 Objetivos do trabalho

Um indicador muito importante que existe na indústria é o consumo específico, que consiste no rácio entre o consumo de energia e a produção. Na dissertação existem três objetivos principais, todos no âmbito da unidade de trituração, descrita nas subsecções seguintes. O principal foco dos três objetivos foi diminuir o consumo específico da unidade de trituração, quer pelo aumento de produção ou pela redução do consumo de energia.

3.2.1 Aumento da disponibilidade da linha de produção

O fluxo da cortiça é bastante extenso e percorre vários equipamentos. É normal que aleatoriamente existam encravamentos de equipamentos devido ao desgaste do equipamento ou algum mau funcionamento aleatório. Não é normal é que estes encravamentos ocorram sucessivamente e sejam uma causa para baixa produtividade. Foram estudados quais os equipamentos que estavam mais vezes a interromper a produção, analisada qual a razão da interrupção e estudada uma solução para assim aumentar a produção da unidade.

3.2.2 Melhoria geral da paragem do turno

A unidade de trituração trabalha 24 horas por dia a três turnos. Entre cada turno existem paragens para limpeza de equipamentos e do espaço de trabalho e troca de equipa. Um dos objetivos da dissertação consiste na redução deste tempo de paragem para assim

umentar o tempo útil de produção, garantindo sempre que os equipamentos ficam preparados para o próximo turno.

3.2.3 Eficiência energética

A unidade de trituração consome cerca de 40% da energia elétrica (EE), 95% do gás natural (GN) e 41% do termofluido (TF) de toda a empresa, pelo que é fundamental reduzir o valor gasto em energia, mas de maneira que esta alteração não piore o consumo específico através da degradação da produção. Assim, foram analisados os equipamentos com maior consumo e estudadas soluções para reduzir o consumo de energia. Para além disto, foram analisados desperdícios de energia que estavam a decorrer e estudadas soluções para reaproveitar essa energia.

3.3 Descrição da unidade de trituração

Foi na unidade de trituração de cortiça que incidiu o projeto e por isso será a unidade industrial que irá ser detalhada.

A unidade de trituração tem como função receber cortiça de fornecedores externos, triturá-la, classificá-la em espetros de densidade e calibre, e regular a sua humidade. Quando se dá a separação por densidade, a cortiça é dividida em três principais categorias, nomeadamente baixa densidade (BD), média densidade (MD) e alta densidade (AD). Quanto ao calibre, esta é caracterizada por intervalos de granulometria. A percentagem de humidade varia consoante as necessidades do mercado e das outras unidades industriais. Na Tabela 8 estão os principais produtos finais que a unidade produz.

Tabela 8 - Principais produtos finais da unidade de trituração

Produto	Granulometria [mm]	Peso específico [kg/m³]
BD 0,5/1	0,5-1	55-75
BD 1/2	1-2	55-75
BD 2/3	2-3	55-75
BD 3/4	3-4	55-75
BD 4/5	4-5	55-75
MD 0,5/1	0,5-1	75-90
MD 1/2	1-2	75-90
AD 0,5/1	0,5-1	100-120
AD 1/2	1-2	100-120
AD 2/3	2-3	100-120

Na Figura 27 está esquematizado o funcionamento da unidade industrial de trituração. A nível de processamento de cortiça a unidade de trituração divide-se em três processos de trituração e dois reprocessamentos. Todas as subunidades abastecem a produção

das outras unidades industriais, sendo que a cortiça da 1ª Trituração e do Reprocessamento 1 pode também seguir para embalagem para posteriormente ser exportada como matéria-prima. Normalmente a humidade exigida pelas outras unidades industriais e clientes é específica, e por isso é necessário regular a humidade, com um processo de secagem, antes de a cortiça seguir para expedição.

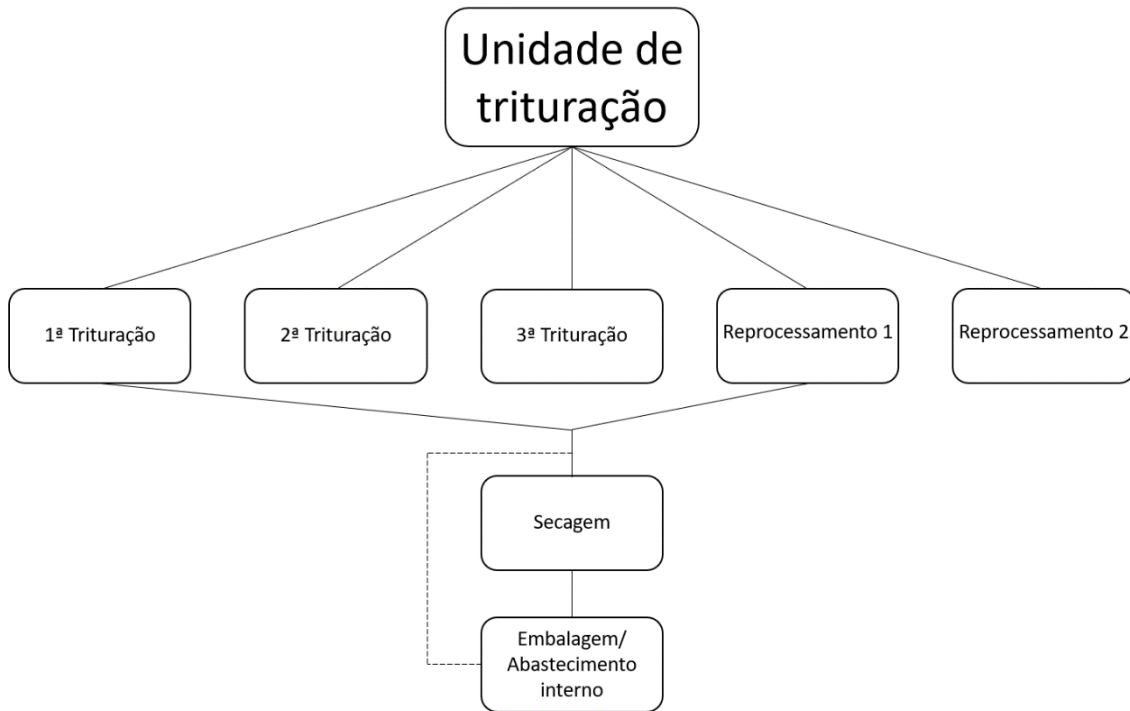


Figura 27 - Esquemática do funcionamento da unidade industrial

A principal diferença entre os reprocessamentos e as triturações é que os reprocessamentos não trituram a matéria-prima, mas sim reprocessam-na já granulada. O reprocessamento 1 produz material personalizado de baixa densidade e de alto valor, destinado a indústrias como a aeroespacial e do calçado. O reprocessamento 2 produz material de alta densidade a ser usado principalmente como *infills* de cortiça para pavimentos desportivos. A primeira trituração foi onde incidiu o foco da dissertação, e conseqüentemente a que vai ser mais detalhada. A segunda trituração tem o mesmo sistema e fluxo que a primeira trituração, mas em menor escala e processa matéria-prima com características específicas. A terceira trituração é a mais simples e processa desperdícios internos para fornecer às outras unidades industriais.

Segue-se então uma explicação detalhada do processo da primeira trituração, desde o funcionamento dos seus equipamentos ao transporte entre eles.

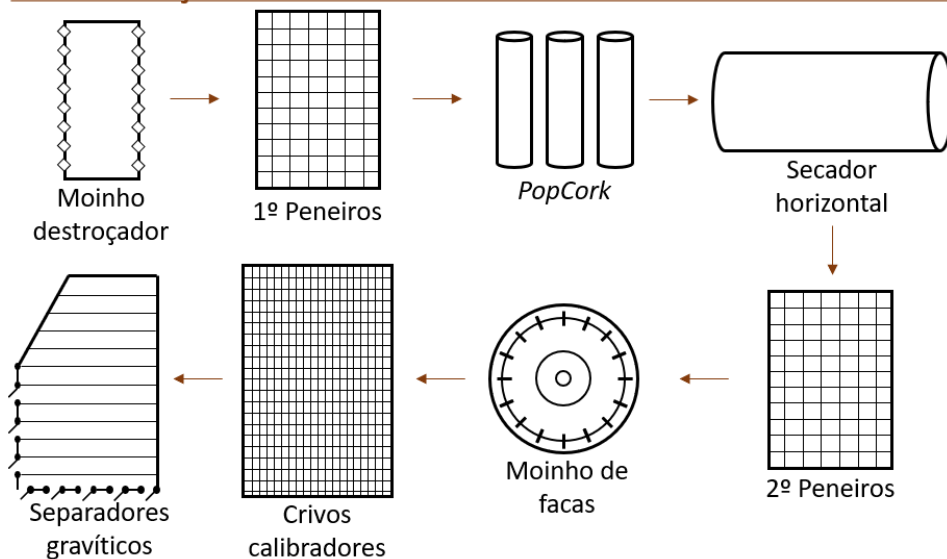
3.3.1 Primeira trituração

Como está representado na Figura 28, a matéria-prima na primeira trituração segue um fluxo que consiste nas seguintes principais etapas:

1. É abastecida a um moinho destroçador onde sofre a primeira redução de granulometria;
2. Em peneiros vai ser crivada de materiais não desejados;
3. É sujeita a um processo de ação de vapor com o objetivo de expandir as células da cortiça;
4. Sofre a sua primeira secagem;
5. Numa segunda peneiração para além de ser crivada de materiais não desejados, também é dividida em duas granulometrias diferentes;
6. Sofre uma segunda redução de granulometria através de moinhos de facas;
7. É dividida em intervalos de granulometria em equipamentos semelhantes aos peneiros, que são denominados de crivos calibradores;
8. Por último, cada intervalo de granulometria é subdividido por densidade aparente em separadores gravíticos.

Integradamente na 1ª trituração existe uma remoagem dos granulados que não encaixaram na tipologia *standard* e de algum material de compra. Este reprocessamento é realizado em moinhos de impacto e após a redução de granulometria a matéria-prima segue um fluxo semelhante após os moinhos de facas.

1ª TRITURAÇÃO



REMOAGEM

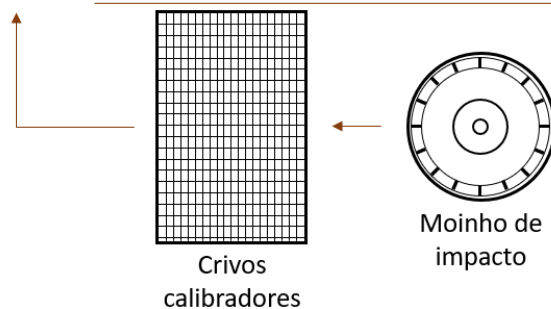


Figura 28 – Fluxograma da 1ª trituração e remoagem

De uma maneira mais detalhada, irá ser descrito o fluxo da cortiça na primeira trituração.

A matéria-prima fornecida à empresa é transportada em camiões e descarregada em diferentes secções que se denominam de baias (Figura 29 a), consoante a tipologia da matéria-prima. Estas baias possuem vários tipos de matéria-prima, desde refugo cru ou cozido (Figura 29 b), apara de costa (Figura 29 c), rolhas (Figura 29 d) e triturado (Figura 29 e). Esta separação serve para depois se definir a combinação dos diferentes tipos de matéria-prima de abastecimento à trituração, através da mistura de matéria-prima de várias baias.



Figura 29 - Baia (a); refugo cru (b); apara de costa (c); rolhas (d); triturado (e)

A matéria-prima é abastecida através de uma pá carregadora (Figura 30 a) num alimentador vibratório (Figura 30 b). Esta pá carregadora é provida de uma balança que pesa a receita da mistura de matéria-prima de forma a controlar o consumo de cada um dos locais. A função do operador nesta etapa é abastecer o alimentador vibratório com uma mistura de matéria-prima das diferentes baias conforme as necessidades desejadas da produção.



Figura 30 - Pá carregadora (a); alimentador vibratório (b)

Numa primeira fase o alimentador vibratório doseia e abastece a matéria-prima a um moinho destroçador (Figura 31 a), onde esta é partida. Este equipamento reduz a granulometria da matéria-prima através de um sistema de rotor que dispõe de uma série de lâminas e contra facas. O material é extraído do equipamento com um transporte pneumático (fluxo de ar) e é através dele que se dá a primeira filtração de materiais não desejados no fluxo. O sistema de filtragem (Figura 31 b) pode ser considerado uma armadilha pneumática que, através da gravidade, separa os materiais mais pesados, como pedras e ferros, que prejudicam a vida útil dos equipamentos.



Figura 31 - Moinho destroçador (a); sistema de filtragem (b)

O transporte da matéria-prima durante o fluxo pode ser efetuado de três formas: transporte por gravidade, transporte de parafuso sem fim ou transporte pneumático. O transporte por gravidade dá-se pela queda de matéria-prima de equipamento para equipamento. O transporte de parafuso sem fim funciona através da rotação de um veio com pás helicoidais que permite a deslocação de material na horizontal ou com inclinação máxima de 45°. Quando a matéria prima é transportada pneumaticamente a

cada equipamento está associado: um ciclone (Figura 32 a), que encaminha a matéria-prima para o equipamento; um ventilador (Figura 32 b), responsável pelo transporte do ar e da matéria-prima; e um filtro (Figura 32 c), que remove pós que, devido à baixa granulometria, se infiltram no ar limpo que é extraído do ciclone e iam ser libertos para a atmosfera. Através de uma eclusa (Figura 32 d), na parte inferior do ciclone, a matéria-prima é doseada no equipamento.



Figura 32 - Ciclone (a); ventilador (b); filtro (c); eclusa (d)

A matéria-prima é então transportada para dois peneiros (Figura 33) que, através da separação por granulometria, eliminam materiais não desejados no fluxo da cortiça da 1ª trituração. Posteriormente aos peneiros estão três balanças, duas quantificam a matéria-prima que prossegue no processo, e uma para contabilizar os materiais rejeitados que posteriormente alimentam as caldeiras da empresa.



Figura 33 – Representação do equipamento: peneiros industriais

Através de um parafuso sem fim o material é junto e encaminhado por um transporte pneumático, onde existe uma outra armadilha pneumática, para a sua próxima etapa. Nesta etapa a matéria-prima é introduzida num equipamento que foi desenhado especificamente para esta indústria, denominado de “*PopCork*” (Figura 34). Este equipamento tem como função aumentar a rentabilidade do processo ao expandir a cortiça com vapor. À saída do *PopCork* está um novo sistema de filtragem e uma balança para controlo do processo.



Figura 34 – Representação do equipamento: *PopCork*

Nesta fase do processo a matéria-prima tem valores de humidade acima do que é pretendido e, de maneira a reduzir a humidade para valores aceitáveis para o processo, existe um secador horizontal (Figura 35). Este secador é rotativo, para permitir uma melhor mistura e secagem da cortiça, possui duas baterias de permutadores de TF e pode ainda recorrer a um queimador (Q) a gás.

Na extração do secador encontra-se um novo sistema de filtragem, embora com um funcionamento um pouco diferente. A tubagem de extração tem uma dimensão relativamente grande, então o material mais pesado deposita-se na tubagem. A extração é feita manualmente através da abertura de uma porta na conduta.



Figura 35 – Representação do equipamento: secador horizontal

Segue-se uma segunda peneiração com o mesmo objetivo que a descrita anteriormente. No entanto, após secagem, a separação granulométrica da cortiça é mais efetiva. Nesta fase, para além de crivar a matéria-prima de materiais não desejados, também a divide em duas granulometrias para fazer um abastecimento diferenciado nos próximos equipamentos. À saída dos peneiros existem novamente três balanças, uma associada a cada granulometria, e uma terceira para contabilizar o material que foi rejeitado e que posteriormente alimenta a caldeira. Na Figura 36 é possível observar os “segundos peneiros” semelhantes aos anteriormente já descritos.



Figura 36 – Representação dos equipamentos: "segundos" peneiros industriais

Segue-se uma segunda moagem, através de um moinho de facas (Figura 37 a), que irá reduzir a granulometria do triturado, transformando-o em granulado. Este equipamento possui um rotor com uma série de facas na extremidade (Figura 37 b) e um crivo com perfurações (Figura 37 c), que funcionam como contra facas e ao mesmo tempo selecionam a granulometria da cortiça. A razão da divisão em duas granulometrias na etapa anterior é enviar cada uma para moinhos de facas com crivos ajustados à granulometria respectiva, de maneira a aumentar a eficiência da moagem.

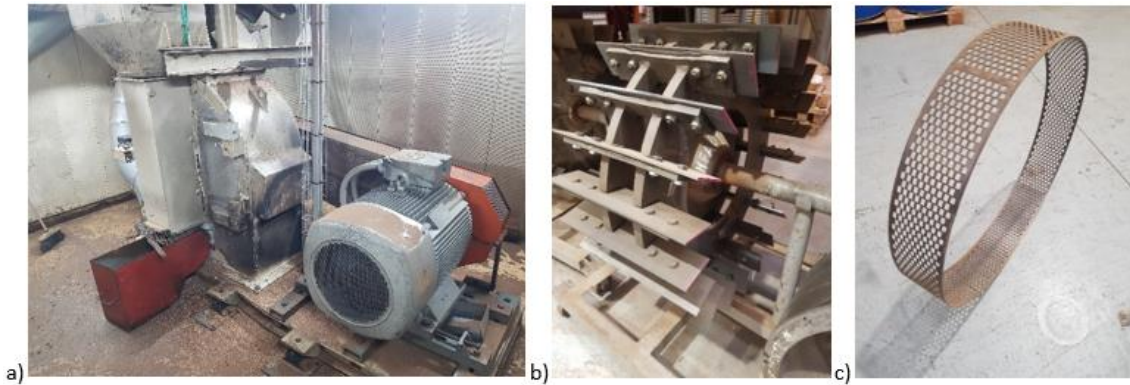


Figura 37 - Moinho de facas (a); rotor com facas na extremidade (b); crivo (c)

Com a cortiça granulada é necessário separá-la por intervalos de granulometria e, para tal efeito, é encaminhada para uma terceira peneiração em equipamentos semelhantes aos anteriormente descritos, porém mais eficazes na separação de granulometria. Estes equipamentos são apelidados de crivos calibradores (Figura 38), e assim como os peneiros apresentam uma inclinação para o material percorrer as várias redes com a ajuda da gravidade.



Figura 38 – Representação dos equipamentos: crivos calibradores

As grandes diferenças entre os dois equipamentos são: o maior número de redes dos crivos calibradores em relação aos peneiros, pois os crivos têm de dividir a matéria-prima em vários intervalos de granulometria, e, para além da vibração, os crivos calibradores detêm um movimento circular para melhorar a separação de partículas. O equipamento divide a cortiça nas granulometrias *standards*, sendo que a cortiça que se encontra acima do limite é reprocessada, e a que está abaixo é rejeitada para biomassa.

Para terminar a separação da cortiça, esta é agora subdividida por densidade aparente em separadores gravíticos (Figura 39). Cada intervalo de cortiça, dividida por granulometria nos crivos calibradores, vai ser encaminhada para um separador gravítico onde se dá a divisão por densidade. A rejeição nesta fase dá-se para reprocessamento ou, se a densidade da cortiça for tão elevada que não tenha aplicação, esta é enviada para a caldeira. A separação da cortiça por densidade no equipamento funciona através de um fluxo de ar ascendente, da inclinação e vibração da máquina e, claro, do efeito da gravidade. Afinando estes parâmetros e juntamente com o ajuste de umas alhetas que existem numa lateral e na parte inferior do equipamento, a cortiça é dividida por densidade aparente. Na parte inferior é recolhida a cortiça de menor densidade e na parte lateral a densidade da cortiça aumenta com a proximidade da alimentação do equipamento (Figura 39 c). No final, a cada produto está associada uma balança para ser possível controlar o processo e determinar o rendimento da trituração.

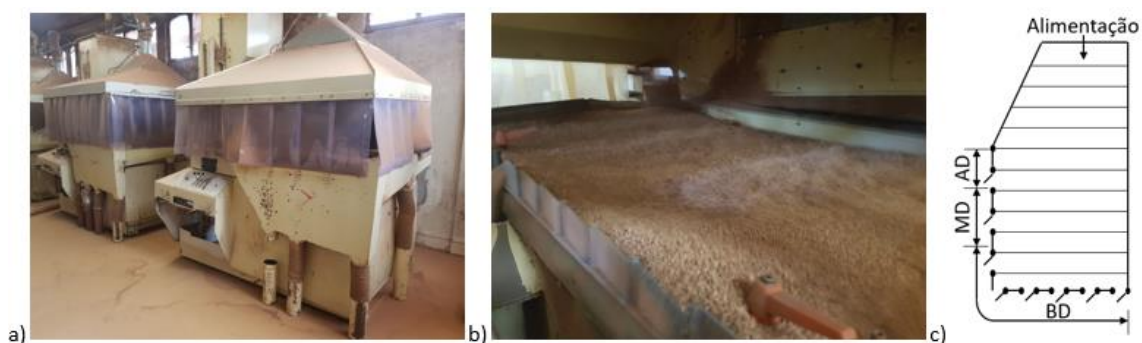


Figura 39 – Separador gravítico: vista exterior (a); vista interior (b); divisão da densidade (c)

Integrada na 1ª trituração existe uma remoagem dos granulados que não encaixam na tipologia *standard* (a nível de granulometria e densidade) ou que existem como excedentes, e também de material de compra que irá ser reprocessado para se reduzir a sua granulometria. Este reprocessamento dá-se em três moinhos de impacto (Figura 40 a), que têm um princípio de funcionamento idêntico aos moinhos de facas. As diferenças mais significativas são a sua elevada rotação, crivos mais pequenos (Figura 40 b), pois o objetivo é reduzir a granulometria de cortiça já granulada, e a forma como as facas estão fixadas na extremidade do rotor (Figura 40 c). Antes de alimentar os moinhos de impacto, a quantidade de cortiça é pesada em três balanças, uma associada a cada moinho, para se poder contabilizar a quantidade de material que está a ser reprocessado.

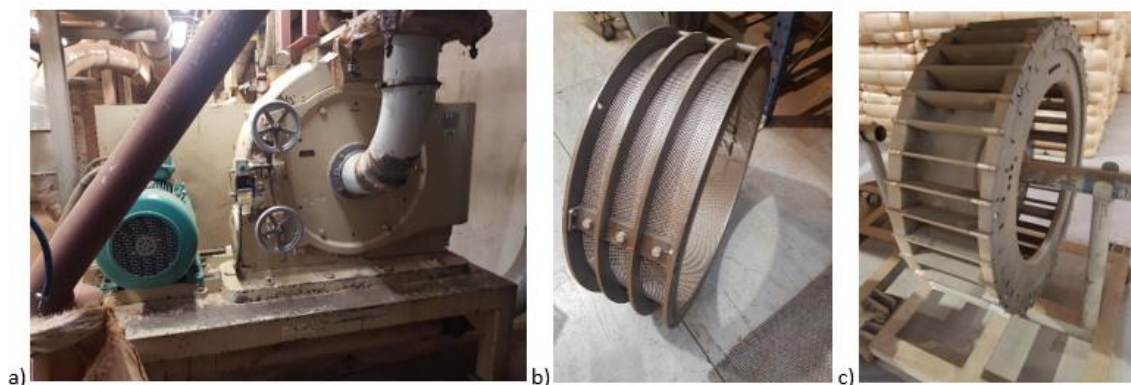


Figura 40 - Moinho de impacto (a); crivo (b); rotor (c)

A partir desta etapa o processo é semelhante ao fluxo após os moinhos de facas.

3.3.2 Secagem

Como referido anteriormente, a humidade da cortiça pode ser definida pelas outras unidades industriais ou pelo cliente pode ser pré-definida. De maneira a regular este valor, existem três secadores verticais, os três semelhantes ao da Figura 41, que funcionam a TF, sendo que um pode também funcionar a GN. A matéria-prima é alimentada na parte superior do secador e desloca-se em “vortex” até à sua extração na parte inferior. Por outro lado, o fluxo de calor percorre o sentido contrário, já que é fornecido na parte inferior e seca o granulado de cortiça até à sua extração na parte superior.



Figura 41 – Representação do equipamento: secador vertical

3.3.3 Embalagem

A última etapa da cortiça é a expedição e, como referido anteriormente, a 1ª trituração pode abastecer as outras unidades industriais, através do encaminhamento da cortiça para os silos da produção dessas mesmas unidades, ou seguir para exportação. Quando a cortiça segue para exportação, esta é encaminhada para a secção de embalagem e aqui é armazenada de diversas formas, sendo que o peso de cada embalagem varia sempre consoante a densidade da cortiça. As principais formas de embalagem são:

- **Big bags** – existem dois tipos de *big bags*, 1 m³ e 2,5 m³, e o seu peso pode variar entre 70 e 1000 kg (Figura 42 a);
- **Sacos** – os sacos podem ser ou não paletizados e o seu peso varia entre 25 e 30 kg (Figura 42 b);
- **Sacos de papel** – estes sacos também podem ser ou não paletizados e são utilizados quando o material é muito fino (MF), pois as outras embalagens deixam escapar este material devido à sua baixa granulometria, e o seu peso ronda os 25 kg (Figura 42 c);
- **Fardos** – na zona de embalagem existem duas prensas que permitem compactar a cortiça de maneira a economizar espaço. Porém, devido à elevada capacidade da cortiça em voltar ao seu estado inicial, a embalagem tem que ser envolvida com arames. O peso de um fardo está compreendido entre os 23 e os 45 kg (Figura 42 d).



Figura 42 – Diferentes embalagens de cortiça: *bigbags* (a); sacos (b); sacos de papel (c); fardos (d)

3.4 Caracterização dos problemas e análise de causas

A unidade industrial de trituração de cortiça é bastante complexa, pois possui um elevado número de equipamentos com características próprias para a indústria, a distância percorrida pela matéria-prima é extensa e o número de produtos finais é elevado. De maneira a melhorar o processo industrial da trituração foram acompanhados arranques e paragens de turnos, estudados os equipamentos mais críticos da instalação e analisados os pontos de maior consumo de energia.

Para cada problema identificado, através da análise do processo, era realizada uma análise através de *brainstorming* onde era executada uma análise de restrição e fiabilidade a cada ideia que surgia. Se a ideia fosse sucedida nas análises era implementada, caso contrário era rejeitada e repetia-se o ciclo para uma nova ideia. Na Figura 43 é possível ver um esquema da análise realizada às várias ideias que surgiram.

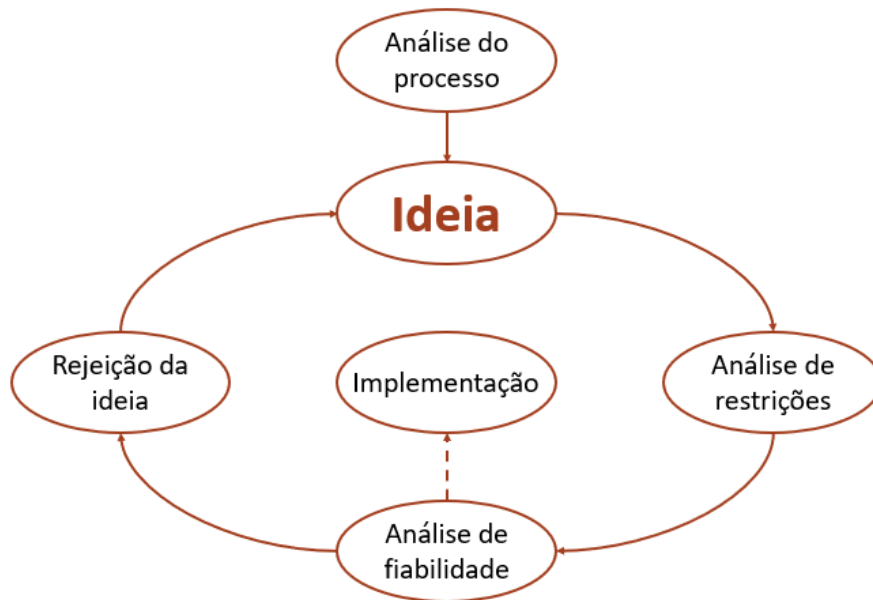


Figura 43 - *Brainstorming* de análise e implementação de ideias

Como resultado desta análise, foram realizadas as intervenções detalhadas nos capítulos a seguir.

3.4.1 Falta de disponibilidade da linha de produção

Como referido anteriormente, o processo da trituração de cortiça é moroso e percorre vários equipamentos. Um mau funcionamento de um equipamento, um parâmetro mal ajustado ou uma sequência mal definida, podem provocar a paragem da linha.

Fruto do processo da trituração e da passagem da matéria-prima pelos vários equipamentos resulta bastante pó. Como a maior parte do transporte de matéria-prima no processo se dá por transporte pneumático, é necessário um filtro para que o pó não seja libertado para a atmosfera. Estes filtros possuem mangas que permitem a passagem de ar limpo enquanto retêm o pó, que depois é doseado através de uma eclusa. O pó vai colmatando as mangas e, por isso, é regularmente injetado um sopro de ar comprimido nas mangas para libertar o pó. Apesar destes sopros regulares, no fim de cada turno as mangas registam acumulação de pó, o que obriga a que o filtro faça uma autolimpeza, que consiste numa sequência de sopros em curtos intervalos de tempo durante alguns minutos.

Quando existe algum encravamento num equipamento, a matéria-prima em excesso é enviada para o filtro associado a esse transporte. Para se prevenir o encaminhamento de matéria-prima de valor para a caldeira, toda a matéria-prima proveniente dos filtros é crivada uma última vez para verificar se ainda existe material de valor. O equipamento responsável por esta função denomina-se de equipamento da crivagem e está representado na Figura 44. Na Figura 45 está uma representação do fluxo com a inclusão deste equipamento e, como se pode verificar, o seu objetivo principal é recuperar terras com valor que eventualmente estejam a ser enviadas para a caldeira.



Figura 44 - Representação do equipamento: crivagem

Na unidade de trituração existem vários filtros devido ao elevado número de equipamentos e, como referido atrás, no final de cada turno os filtros fazem uma autolimpeza para libertar o pó que fica colmatado nas suas mangas. Como a paragem dos filtros é simultânea, num curto intervalo de tempo é enviada uma elevada quantidade de pó para a crivagem. Para além de este ser um processo desnecessário, pois este pó não possui cortiça com valor para ser crivado uma última vez, a crivagem não está preparada para processar uma quantidade tão grande de pó. Dependendo da matéria-prima, se gera muito pó ou não, na paragem de turno o equipamento de crivagem costuma encravar pelo menos uma vez por semana e demora entre 1h30 a 2h a ficar novamente disponível, o que prejudica o arranque do próximo turno.

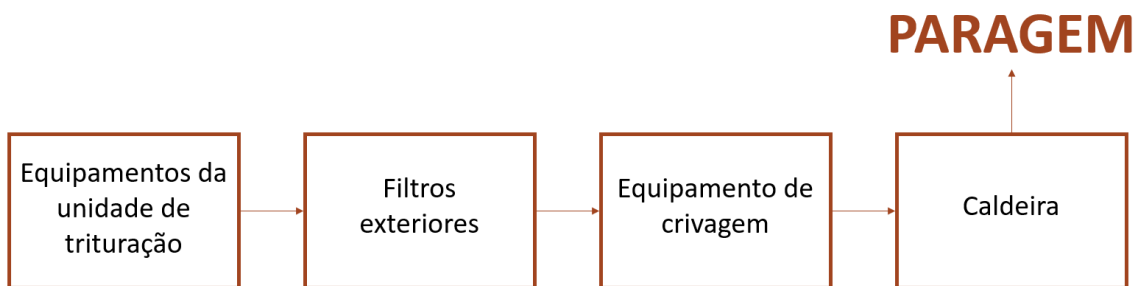


Figura 45 - Fluxograma da matéria-prima com inclusão do equipamento de crivagem

3.4.2 Paragem geral do turno

Como já referido, a unidade de trituração trabalha 24 horas por dia a três turnos, e entre cada turno existe uma paragem para troca de equipa e limpeza dos equipamentos e do espaço de trabalho. O espaço de trabalho e parte dos equipamentos são limpos pelos operadores, enquanto a outra parte dos equipamentos é limpa de forma automática na sequência de paragem. A mudança de turno consome no total cerca de uma hora do turno de oito horas, o que é uma percentagem grande.

Dois problemas responsáveis pelo elevado tempo de paragem irão ser descritos de seguida.

3.4.2.1 Fluxo das terras

Na Figura 46 é possível ver a representação do fluxo da paragem dos ciclofiltros dos moinhos de impacto, assim como os tempos de paragem de cada equipamento. A cada moinho de impacto responsável pela remoagem da cortiça (ver fluxograma da Figura 28) está associado um ciclofiltro para extrair o material do equipamento e encaminhá-lo para o próximo (crivos calibradores). Um ciclofiltro é uma mistura de um filtro e de um ciclone, pelo que tem a capacidade de dosear a matéria-prima para o equipamento e ao mesmo tempo filtrar o ar do pó através de mangas. Os ciclofiltros, igualmente aos filtros, fazem uma autolimpeza na paragem de turno para soltar o pó que vai colmatando as suas mangas.

Para a matéria-prima que é muito fina não existe necessidade de efetuar a divisão por densidades, e por isso não segue para os separadores gravíticos. Ao invés, esta é encaminhada para um ciclofiltro interior da trituração. Se existir a necessidade de exportar esta matéria-prima, esta é retirada para sacos. Caso contrário, esta é encaminhada para um filtro exterior que é responsável por recolher todas as terras interiores da primeira trituração. Como já mencionado, o pó originário da limpeza dos ciclofiltros não tem valor nenhum e, devido à sua baixa granulometria, vai encher o filtro interior do material fino, que só depois irá ser encaminhado para o filtro exterior. Um outro problema no fluxo da remoagem de cortiça é que, devido à quantidade de pó gerado na autolimpeza dos ciclofiltros, as redes dos crivos calibradores colmatam e o

excesso de terras e pó é encaminhado para os separadores gravíticos. Isto obriga a parar um moinho de impacto de cada vez, o que atrasa o tempo de paragem em comparação com a paragem simultânea dos três moinhos de impacto.

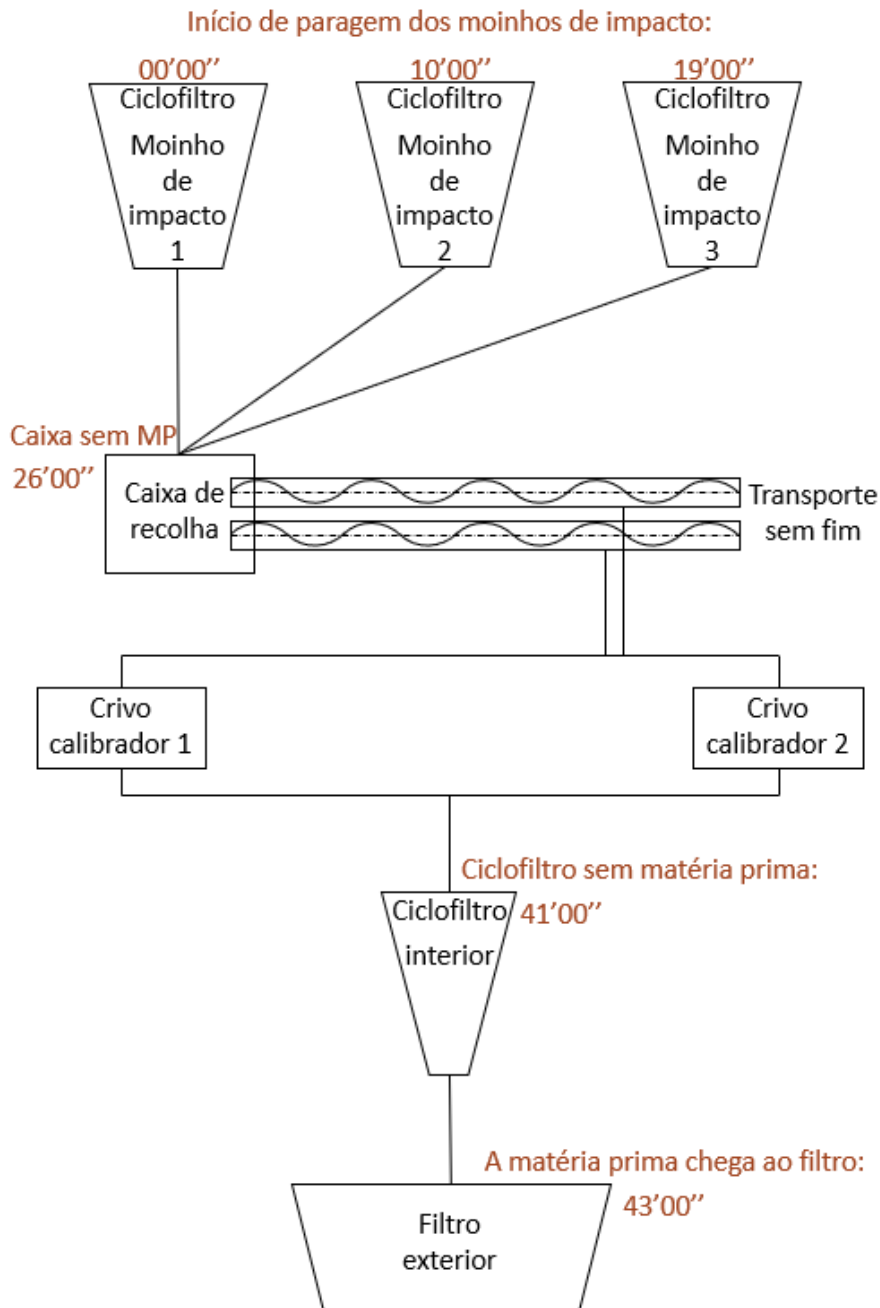


Figura 46 - Representação do fluxo da paragem dos ciclofiltros

Na Figura 47 mostra-se um diagrama 5 *Why* em que o problema identificado, elevado tempo de paragem (até uma hora), é sujeito a consecutivas perguntas. Através das respostas é possível concluir que uma das razões para o elevado tempo de paragem é a não existência de um fluxo alternativo para a elevada quantidade de pó gerado na paragem de turno.

Elevado tempo de paragem de turno

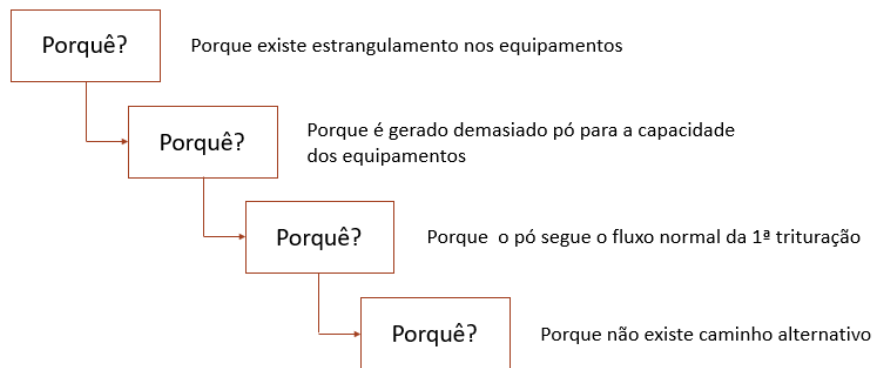


Figura 47 - Utilização da ferramenta 5 Why

3.4.2.2 Sequência de paragem de equipamentos

Um problema relacionado com esta paragem já foi descrito no capítulo 3.4.1. O outro problema consiste no elevado tempo que a paragem leva. Fruto da análise através de um Diagrama de Ishikawa, representado na Figura 48, foi possível identificar as principais causas que estavam a gerar um elevado tempo de paragem. Sendo que o número elevado de equipamentos não é passível de alteração, pois todos os equipamentos são imprescindíveis para o processo, todas as outras causas foram alvo de análise.

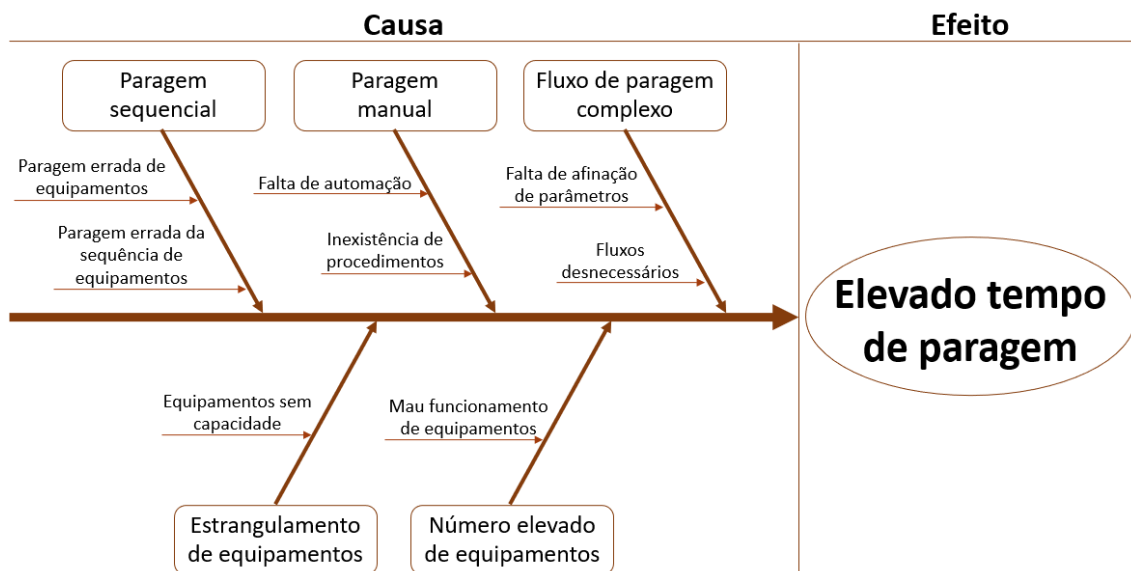


Figura 48 - Diagrama de Ishikawa em relação ao elevado tempo de paragem

Foi construído um formulário de recolha de dados (em apêndice 1) com os vários filtros representados e o seu início e fim de paragem. Com o acompanhamento da paragem de turno, o formulário foi preenchido várias vezes de maneira a ser possível aferir o tempo

de paragem de cada filtro. Através da análise dos tempos de paragem foi possível concluir que a paragem dos filtros demora em média 17 minutos.

Só depois de os filtros terem terminado a sua paragem é que se inicia a paragem do equipamento da crivagem. A paragem da crivagem demora 16 minutos e consiste em 4 etapas: (1) 2 minutos para troca do sentido do material proveniente dos filtros exteriores, agora faz um *bypass* à crivagem e vai diretamente para a caldeira; (2) 5 minutos para autolimpeza do filtro da crivagem; (3) 4 minutos para limpeza da tubagem de aspiração para a caldeira; e (4) 5 minutos para autolimpeza do filtro da caldeira.

Na Figura 49 apresenta-se uma representação da paragem de forma sequencial dos filtros e da crivagem, que são uma parte no processo global que está representado na Figura 45. A paragem destes dois equipamentos demora um total de 34 minutos.

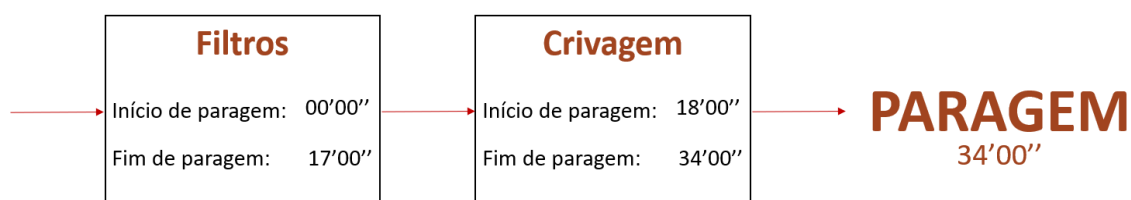


Figura 49 – Paragem sequencial dos filtros exteriores e da crivagem

3.4.3 Eficiência energética

Como já mencionado, a unidade de trituração tem um elevado consumo de energia. De maneira a tentar reduzir o valor gasto em energia, foram identificados processos e equipamentos de alto consumo.

3.4.3.1 Elevado consumo de energia

A unidade de trituração consome três tipos principais de energia: TF, GN e EE. A nível de custo, a energia mais barata é o TF, pois este é fornecido por caldeiras internas da empresa que são alimentadas na sua maioria por desperdícios internos das unidades industriais. Graças à instabilidade atual do mercado energético a EE e GN estão a ter picos de preços bastante elevados, que ultrapassaram os 150 €/kWh.

Os secadores da 1ª e 2ª trituração, representado na Figura 28 para a 1ª trituração, possuem duas baterias a TF e um queimador a gás, que liga consoante as necessidades de humidade final. Como é possível verificar no gráfico da Figura 50, o secador da 2ª trituração em comparação ao da 1ª tem um menor consumo de TF, o que consequentemente aumenta o consumo de GN.

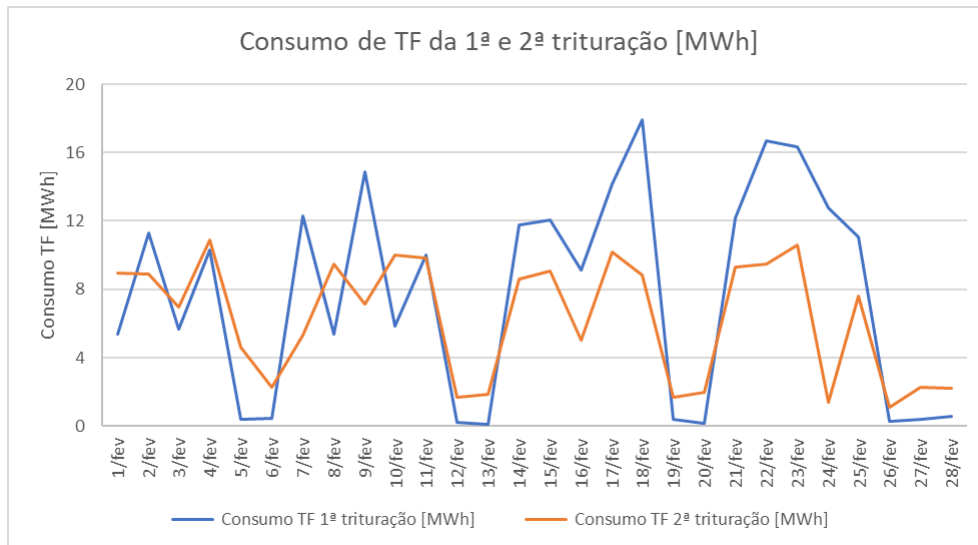


Figura 50 - Consumo de TF da 1ª e 2ª trituração

3.4.3.2 Desperdício de energia

De maneira a expandir as células vegetais da cortiça é-lhe injetado vapor sobreaquecido a temperatura e pressão controladas. O equipamento responsável por esta ação é o “PopCork”, visível na Figura 28, que corresponde ao único ponto de consumo de vapor na unidade de trituração. Transformar água em vapor é dispendioso, pois é algo que consome bastante energia. No final da expansão da cortiça é libertado vapor saturado para a atmosfera que ainda contém muita energia. Este vapor está contaminado com partículas de cortiça, o que dificulta o seu reaproveitamento. Na Figura 51 apresenta-se um esquema do processo da injeção de vapor nas três câmaras de expansão (CEX).

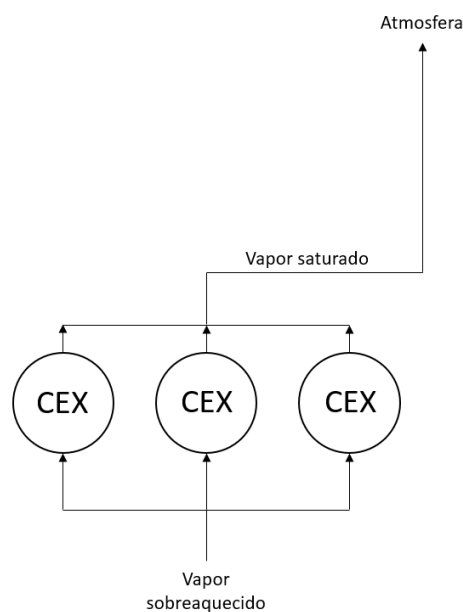


Figura 51 - Esquema do processo de expansão de cortiça

3.5 Implementação de ações de melhoria

Na Tabela 9 é possível verificar um resumo dos problemas identificados na unidade de trituração e as soluções propostas que vão ser detalhadas nos subcapítulos que se seguem.

Tabela 9 - Problemas identificados na unidade de trituração e soluções propostas

Problema		Solução proposta
Falta de disponibilidade da linha de produção		Alteração da sequência de paragem de equipamentos
Paragem geral do turno	Sequência de paragem de equipamentos	Alteração da sequência de paragem de equipamentos
	Fluxo das terras	Alteração do fluxo das terras
Eficiência energética	Elevado consumo de energia	Troca da bomba de TF
	Desperdício de energia	Condensação do vapor do <i>PopCork</i> para o pré-aquecimento do ar dos secadores

3.5.1 Alteração da sequência de paragem de equipamentos

A alteração da sequência de paragem permitiu resolver dois problemas:

- Aumento da disponibilidade da recuperação de terras;
- Melhoria da sequência de paragem de equipamentos.

Na Figura 52 está identificado o fluxo da matéria-prima com a crivagem em funcionamento e os equipamentos respetivos.

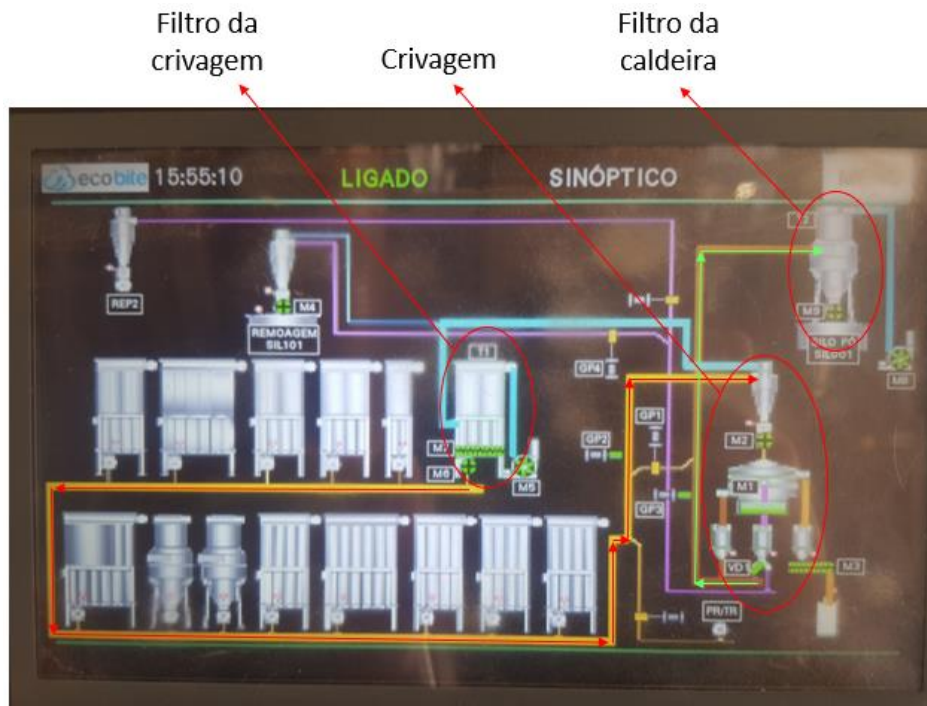


Figura 52 - Funcionamento normal do equipamento da crivagem

Como já referido, a paragem da crivagem consiste nas quatro seguintes etapas:

- **1ª etapa** – troca de sentido do fluxo da matéria-prima. Terminando esta etapa, a matéria-prima é encaminhada diretamente para a caldeira (Figura 53);

Alteração do fluxo
da matéria-prima

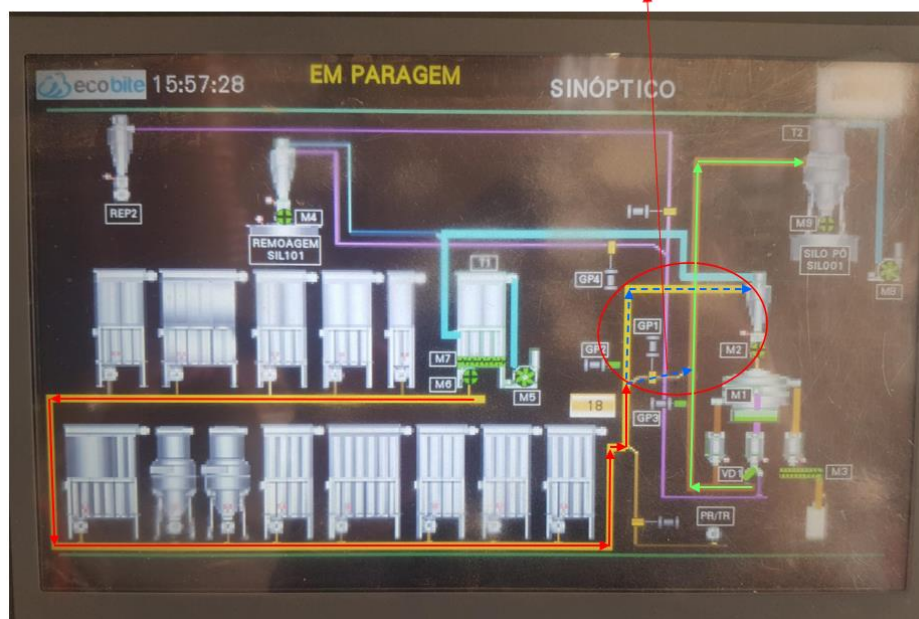


Figura 53 - Primeira etapa da paragem do equipamento da crivagem

- **2ª etapa** – autolimpeza do filtro da crivagem (Figura 54);



Figura 54 - Segunda etapa da paragem do equipamento da crivagem

- **3ª etapa** – limpeza da aspiração da tubagem que encaminha para a caldeira (Figura 55);



Figura 55 - Terceira etapa da paragem do equipamento da crivagem

- **4ª etapa** – autolimpeza do filtro da caldeira (Figura 56).

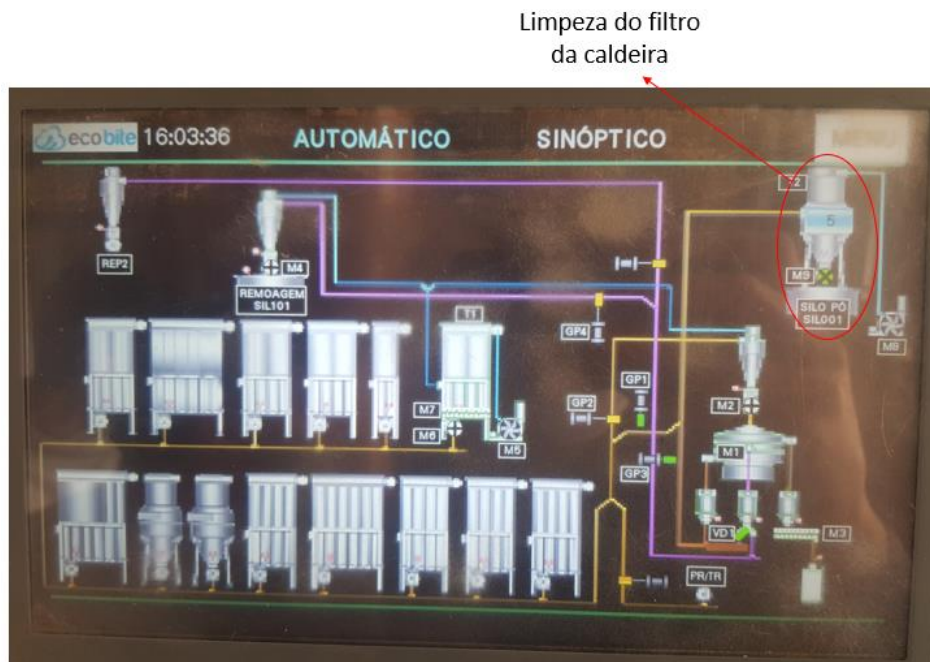


Figura 56 - Quarta etapa da paragem do equipamento da crivagem

O momento mais crítico para a crivagem encravar é na paragem dos filtros quando todo o pó da autolimpeza dos filtros é enviado para a crivagem e colmata as suas redes. Assim, para prevenir que a crivagem encrave, é necessário que este pó seja diretamente encaminhado para a caldeira. Para este efeito, alterou-se a sequência de paragem, iniciando-se primeiro a paragem da crivagem e só de seguida a dos filtros, para assim garantir que o pó seja direcionado para a caldeira e não para a crivagem.

Na alteração da sequência de paragem, é necessário garantir que a paragem dos filtros decorre na segunda e na terceira etapa. De facto, se a paragem ocorrer durante a primeira etapa, ainda vai estar a ser encaminhado pó para a crivagem, enquanto se for durante a quarta etapa, o pó vai ficar depositado nas tubagens devido à paragem do ventilador do filtro. Sabendo que a paragem dos filtros demora cerca de 17 minutos, ajustou-se a segunda e terceira paragem para 11 minutos cada, dando assim uma margem de erro de 5 minutos. A primeira etapa ficou ajustada em 30 segundos, pois o operador demora cerca de um minuto a deslocar-se do quadro elétrico da crivagem para o quadro elétrico dos filtros, e assim garante-se que, quando inicia a paragem dos filtros, o fluxo da matéria-prima já está direcionado para a caldeira e não para a crivagem. Para a última etapa aumentou-se o tempo de paragem para 6 minutos. Na Figura 57 estão resumidos os tempos de paragem de cada etapa da crivagem, sendo que o tempo total de paragem são 28 minutos e 30 segundos.

Tempo de paragem das etapas da crivagem		
1ª etapa	➔	30 segundos
2ª etapa	➔	11 minutos
3ª etapa	➔	11 minutos
4ª etapa	➔	6 minutos

Figura 57 - Tempo de paragem das etapas da crivagem

Na Figura 58 é possível verificar uma esquematização da alteração da paragem que agora já não é de forma sequencial, mas sim de forma paralela.

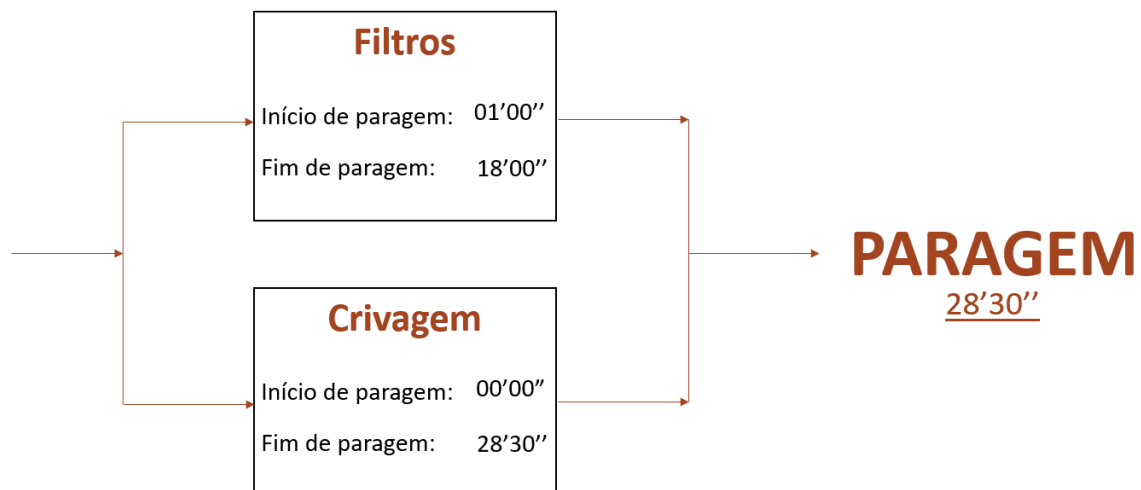


Figura 58 - Paragem paralela dos filtros exteriores e da crivagem

Com esta melhoria aumenta-se a disponibilidade de recuperação de terras ao garantir-se que a crivagem fica limpa e não encrava na passagem de turno. De facto, para além de o pó já não estar a ser encaminhado para a crivagem, também se aumentou o tempo de autolimpeza do seu filtro de 5 para 11 minutos. Uma outra vantagem foi poder reduzir o tempo de paragem total de 34 minutos para 28 minutos e 30 segundos.

A melhoria foi dividida em duas resoluções:

Imediata

A melhoria atual, e que de momento está implementada, não necessitou de investimento. Apenas foram alterados os tempos de paragem de cada etapa e foi necessário criar uma OPL (*One Point Lesson*) (em apêndice 2) para que o operador proceda da forma correta na sequência de paragem.

Futura

A melhoria futura, e que vai de encontro à evolução da unidade de trituração para uma 1ª fase de SCADA (sistema de supervisão e aquisição de dados) através de programação, consiste na paragem automática da unidade de trituração apenas num quadro elétrico. Nesta fase, para além desta alteração na sequência de paragem, foram também estudadas e analisadas possíveis melhorias para incrementar ganhos energéticos e tempos de paragem, sendo elas as seguintes:

- Na sequência de paragem da crivagem, o equipamento para quando termina a segunda etapa, ou seja, quando termina a autolimpeza do seu filtro;
- Quando o último filtro interior terminar a sua autolimpeza o filtro exterior, que recolhe as terras interiores, deve desligar o seu ventilador e iniciar a sua autolimpeza, pois já não existe material por aspirar no interior da instalação;
- O filtro exterior, que é responsável por recolher as terras interiores da instalação, é o último a terminar a sua autolimpeza, e apenas depois de este terminar é que o filtro da caldeira pode iniciar a sua sequência de paragem para se concluir a paragem de turno da unidade de trituração. A descarga de material do filtro que recolhe as terras interiores é suspensa quando o último filtro exterior terminar a sua autolimpeza, altura em que o filtro da caldeira pode iniciar a sua paragem. No arranque do turno, quando os equipamentos estão a ligar, o filtro exterior envia as terras que ficaram depositadas no seu interior para a caldeira, sendo que teria que se garantir que no arranque a crivagem estaria em *bypass* para não estar a crivar desnecessariamente esta matéria-prima uma última vez. Para melhor entendimento da alteração da paragem destes equipamentos, na Figura 59 encontra-se um esquema dos equipamentos com os tempos de paragem, sendo possível concluir que esta implementação reduz o tempo de paragem em 4 minutos e 35 segundos.

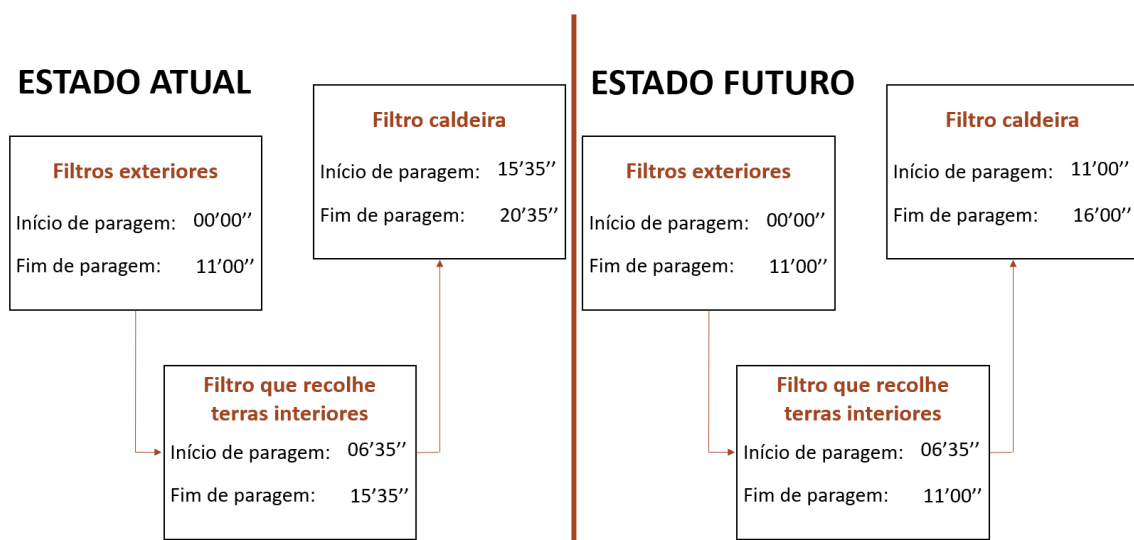


Figura 59 – Alteração da paragem de equipamentos com base em programação

3.5.2 Alteração do fluxo das terras

Na Figura 60 é possível ver uma esquematização que demonstra o fluxo que foi desenvolvido e os tempos de paragem de cada equipamento.

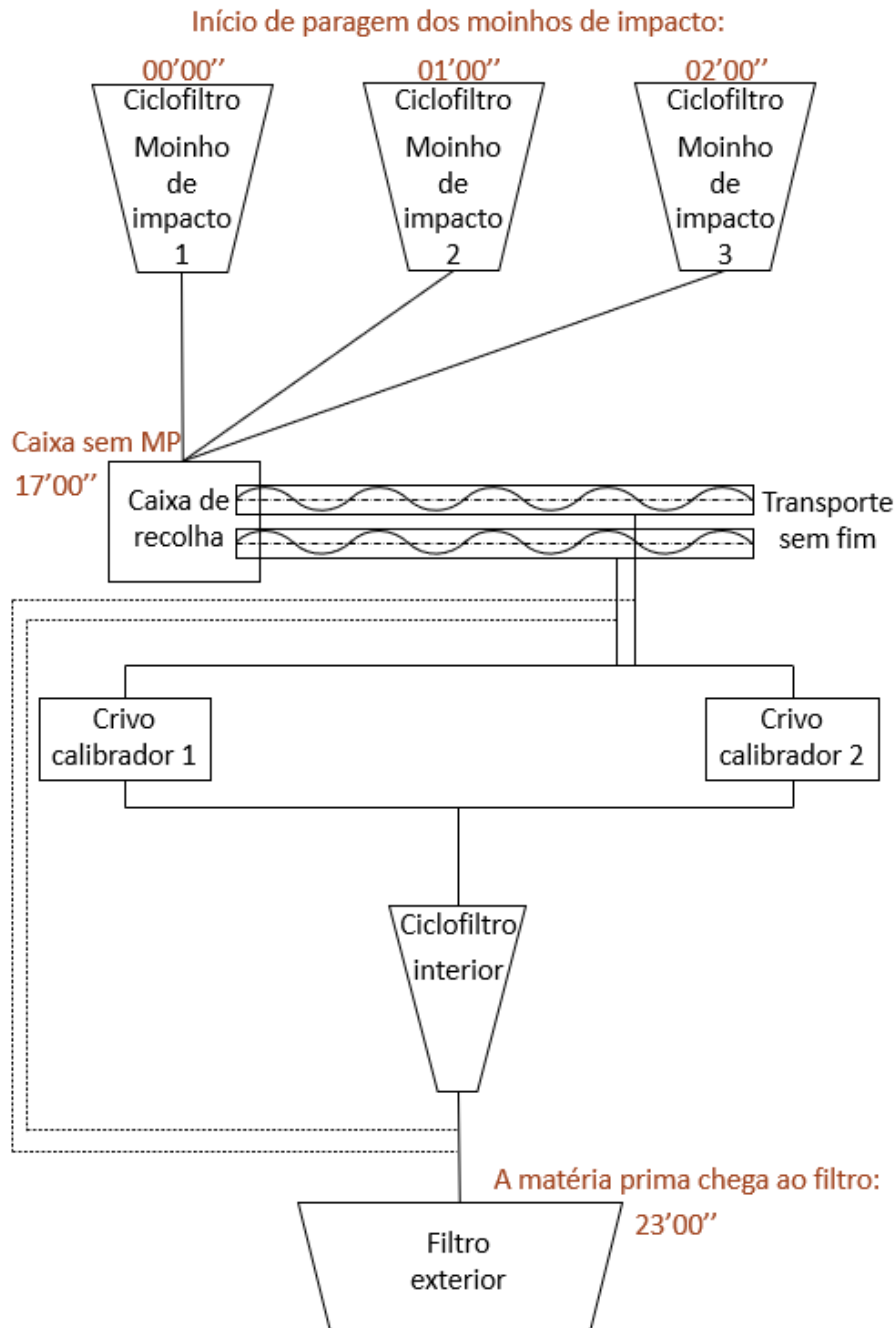


Figura 60 - Representação da alteração do fluxo da paragem dos ciclofiltros

De maneira a evitar que terras provenientes da autolimpeza dos ciclofiltros associados aos três moinhos de impacto sigam nos equipamentos da primeira trituração, foi criada uma alteração no fluxo das terras para as encaminhar diretamente para o filtro exterior que recolhe as terras interiores da trituração.

Como já foi referido, as terras oriundas da autolimpeza dos ciclofiltros associados aos três moinhos de impacto estavam a percorrer o fluxo durante o funcionamento normal do turno. Estas terras, sem valor algum, vão colmatar os crivos calibradores, e o excesso vai ser encaminhado para os separadores gravíticos. Posteriormente aos crivos calibradores, as terras, como são de baixa granulometria, vão ser encaminhadas para um filtro interior, e de seguida são conduzidas para o filtro exterior, responsável por recolher as terras interiores da primeira trituração. Todo este percurso é desnecessário e prejudica os vários equipamentos durante o fluxo.

O filtro exterior recolhe terras interiores de vários equipamentos da primeira trituração, ou seja, existem vários transportes para este filtro. Foi projetada uma ligação entre um destes transportes e a tubagem que liga o transporte sem fim aos crivos calibradores. Assim, quando se dá a paragem dos moinhos de impacto, automaticamente o fluxo é alterado e o material proveniente dos ciclofiltros é encaminhado para o filtro exterior. Com este procedimento foi possível reduzir o tempo de paragem de 43 para 23 minutos.

3.5.3 Eficiência energética

Com o objetivo de reduzir o valor gasto em energia, foi implementada uma troca de bomba de TF numa subunidade e reaproveitada energia que estava a ser libertada num processo do fluxo da 1ª trituração. Estas ações são detalhadas nos subcapítulos a seguir.

3.5.3.1 Troca da bomba de TF

Para aumentar a entrega térmica de TF no secador da 2ª trituração, foi trocada a bomba de TF da 2ª trituração. Através desta ação, foi possível verificar que se aumentou a entrega térmica do TF. Na Tabela 10 está representada as chapas características técnicas da bomba de TF anterior e atual, que tem um caudal de 91,19 m³/h.

Tabela 10 - Características técnicas da bomba de TF existente e proposta

	Antes	Depois
Caudal [m ³ /h]	75,00	91,19
Altura de aspiração [m]	15,00	37,31
Viscosidade cinemática [mm ² /s]	1,00	1,00
Rotações por minuto [rpm]	2940	2959
Diâmetro externo do rotor [mm]	130	174

Na Figura 61 está um gráfico que demonstra o consumo de TF no mês posterior à troca da bomba. De referir que a 2ª trituração teve uma produção atípica devido a vários turnos em que não houve produção devido a planeamento de obras para os referidos dias.

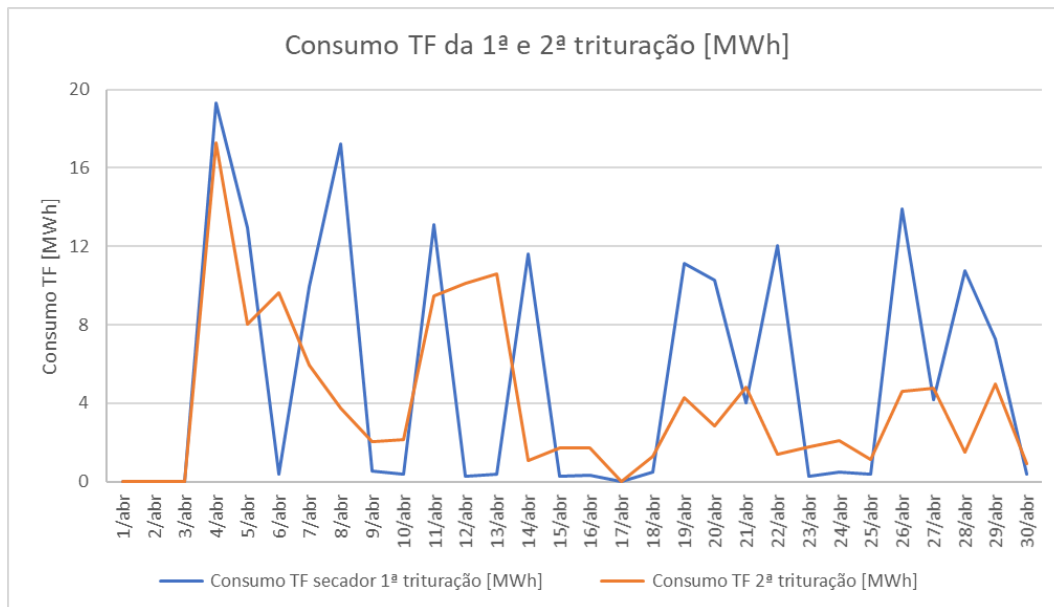


Figura 61 - Consumo de TF da 1ª e 2ª trituração no mês posterior à troca de bomba de TF

Desprezando o consumo residual dos dias que não houve produção, o consumo médio diário de TF antes da troca de bomba, representado na Figura 50, era de 8 668,26 kWh. No mês posterior à troca da bomba, representado na Figura 61, o consumo médio diário de TF aumentou para 10 145,74 kWh.

Como se comprova no gráfico da Figura 62, com a troca da bomba de TF, foi possível diminuir o consumo de GN. Graças ao aumento de 17% do consumo médio diário de TF, foi possível diminuir consumo médio diário de GN de 2424,16 kWh para 485,61 kWh.

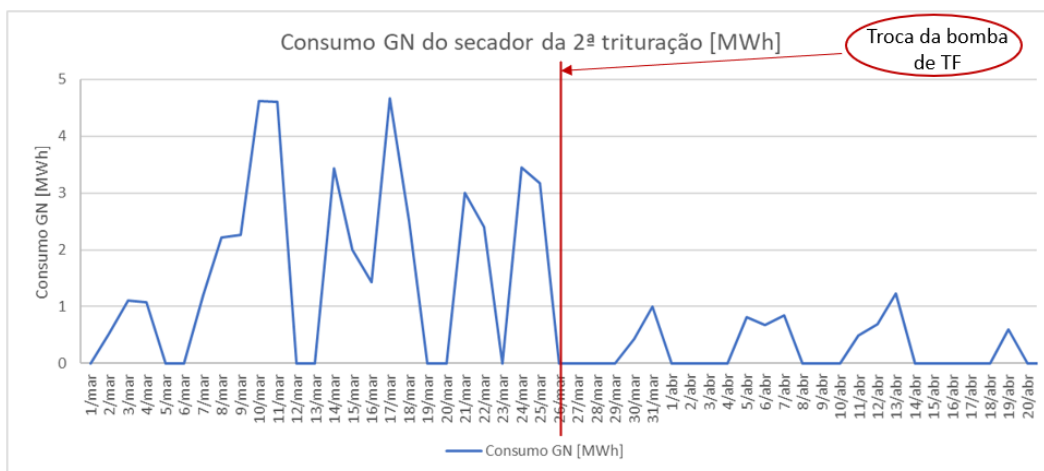


Figura 62 - Consumo de GN no secador da 2ª trituração

3.5.3.2 Condensação do vapor do PopCork para o pré-aquecimento do ar dos secadores

De forma a entender melhor o reaproveitamento da energia que estava a ser perdida, na Figura 63 está uma esquematização do reaproveitamento do vapor.

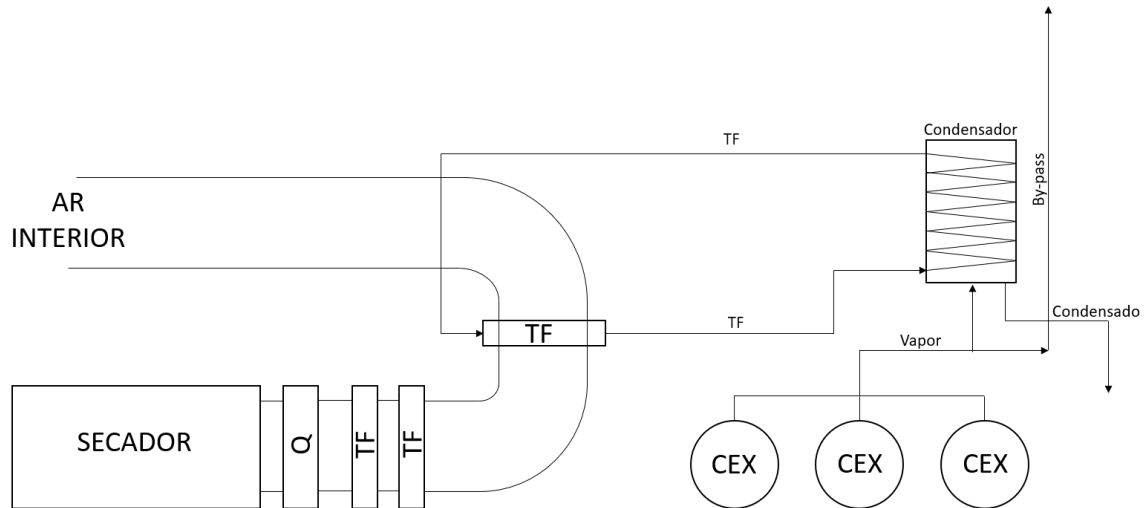


Figura 63 - Reaproveitamento do vapor libertado pelo PopCork

De forma a reaproveitar a energia que é libertada para a atmosfera no vapor *PopCork*, foi criado um terceiro permutador de TF no secador horizontal. Através de um condensador o vapor é condensado e permuta o seu calor com um TF que circula entre o interior do condensador, e o permutador na aspiração do secador horizontal. Este permutador deve ser colocado antes das outras baterias de TF, pois a sua temperatura é inferior ao TF proveniente da caldeira. Uma segunda alteração consistiu na alteração do local de aspiração do secador, do exterior para o interior da instalação.

Com a recuperação do vapor, a necessidade térmica das baterias de TF alimentadas pela caldeira não irá ser tão grande, o que irá diminuir o consumo de biomassa na caldeira, e o mesmo acontece para o consumo de GN no queimador.

3.6 Quantificação das melhorias obtidas e indicadores

Nos subcapítulos que se seguem são detalhados os ganhos obtidos das várias ações de melhorias propostas e implementadas.

3.6.1 Alteração da sequência de paragem de equipamentos

Como referido no capítulo anterior, esta ação de melhoria permitiu solucionar dois problemas:

1. Aumento da disponibilidade da recuperação de terras;
2. Melhoria da sequência de paragem de equipamentos.

Foram encontradas duas soluções para os problemas identificados:

- **Imediata** – não necessitou de investimento;
- **Futura** – vai integrar a evolução da unidade de trituração para uma 1ª fase de SCADA e, para já, não é possível quantificar o seu valor de investimento.

Solução imediata

Para o primeiro problema, aumento da disponibilidade da recuperação de terras, é difícil de quantificar os seus ganhos, pois o equipamento da crivagem não é um equipamento de produção. De facto, este serve apenas como uma segurança no caso de existir algum encravamento nos equipamentos da unidade de trituração. No entanto, verificou-se que os encravamentos reduziram significativamente, o que aumentou a disponibilidade do equipamento.

Para o segundo problema, melhoria da sequência de paragem, e que vai de encontro com o aumento da disponibilidade do equipamento da crivagem, a alteração implementada permitiu reduzir o tempo de paragem, ao se realizar a sequência de paragem de forma paralela, em 5 minutos e 30 segundos. Considerando que existem 3 paragens por dia e 225 dias de trabalho num ano, esta paragem permite reduzir em 61 horas, 52 minutos e 30 segundos o tempo de paragem anual. Esta redução de paragem permite prolongar a produção das unidades da remoagem e do reprocessamento 1.

Na Tabela 11 apresenta-se o resumo dos ganhos obtido com a implementação da ação de melhoria: alteração da sequência de paragem de equipamentos – resolução imediata.

Tabela 11 – Ganhos com a alteração da sequência de paragem de equipamentos com resolução imediata

	Remoagem	Reprocessamento 1
Ganho	5 minutos e 30 segundos por turno	5 minutos e 30 segundos por turno
Número de paragens	3 paragens diárias	3 paragens diárias
Dias de trabalho por ano	225	225
Tempo ganho anualmente	61 horas, 52 minutos e 30 segundos	61 horas, 52 minutos e 30 segundos

Solução futura

Para além dos ganhos anteriormente descritos, com a resolução futura é possível:

- Ganhar energeticamente com a paragem antecipada de equipamentos;

- Beneficiar de uma diminuição de paragem adicional de 4 minutos e 35 segundos, Com base nas considerações da resolução imediata, a resolução futura permite reduzir em 51 horas, 33 minutos e 45 segundos o tempo de paragem anualmente. Na Tabela 12 apresenta-se um resumo dos ganhos obtidos com a implementação da ação de melhoria: alteração da sequência de paragem de equipamentos – resolução futura.

Tabela 12 - Ganhos com a alteração da sequência de paragem de equipamentos com resolução futura

	Remoagem	Reprocessamento 1
Ganho	4 minutos e 35 segundos por turno	4 minutos e 35 segundos por turno
Número de paragens	3 paragens diárias	3 paragens diárias
Dias de trabalho por ano	225	225
Tempo ganho anualmente	51 horas, 33 minutos e 45 segundos	51 horas, 33 minutos e 45 segundos

3.6.2 Alteração do fluxo das terras

A alteração do fluxo das terras permitiu reduzir o tempo de paragem em 20 minutos e, como na melhoria descrita no subcapítulo anterior, permite prolongar a produção da remoagem e do reprocessamento 1. Considerando os mesmos critérios que na medida anterior, no final de um ano é possível aumentar a produção da remoagem e do reprocessamento 1 em 225 horas. Na Tabela 13 está um resumo dos ganhos obtidos com a implementação da ação de melhoria: alteração do fluxo das terras.

Tabela 13 - Ganhos com a alteração do fluxo das terras

	Remoagem	Reprocessamento 1
Ganho	20 minutos	20 minutos
Número de paragens	3 paragens diárias	3 paragens diárias
Dias de trabalho por ano	225	225
Tempo ganho anualmente	225 horas	225 horas

3.6.3 Eficiência energética

3.6.3.1 Troca da bomba de TF

Através da troca da bomba de TF foi possível aumentar o consumo de TF em 17% e reduzir o consumo de GN em 80%. Como o TF é uma energia menos dispendiosa do que o GN, conclui-se que esta alteração constitui uma melhoria benéfica. Na Tabela 14 representa-se o consumo de GN antes e depois da troca da bomba de TF e a sua diferença.

Tabela 14 - Ganhos com a troca da bomba de TF

	Consumo médio diário de GN [kWh]	Consumo médio diário de TF [kWh]
Antes da troca da bomba de TF	2 424,16	8 668,26
Depois da troca da bomba de TF	485,61	10 145,74
Diferença	1 938,56	1 477,48

3.6.3.2 Condensação do vapor do PopCork e pré-aquecimento do ar dos secadores

Por constrangimentos a nível de tempo de resposta por parte de algumas empresas, não foi possível realizar esta ação de melhoria. No entanto, sugere-se um conceito de uma possível solução a implementar no futuro, que consiste na recuperação do vapor libertado no PopCork, para pré-aquecer o ar dos secadores. Conseguindo pré-aquecer o ar de aspiração do secador a 80°C estima-se, através de um relatório de uma empresa de consultoria, que seria possível poupar anualmente 15% do GN e 30% do TF, este último fornecido internamente pelas caldeiras da empresa. Na Tabela 15 apresenta-se uma estimativa da poupança em kWh das energias de GN e TF.

Tabela 15 - Possíveis ganhos com o pré-aquecimento do ar dos secadores através da condensação do vapor do PopCork

	GN	TF
Consumo anual do secador [kWh]	1 760 000	4 200 000
Redução	15%	30%
Poupança [kWh]	264 000	1 260 000

3.7 Análise de custos e retorno do investimento

De maneira a converter os ganhos obtidos em valor monetário, nos subcapítulos que se seguem são descritas as considerações feitas.

3.7.1 Alteração da sequência de paragem de equipamentos

Consultando os valores de produção da unidade de trituração, que são fruto de análise interna, conclui-se que o valor de receita de produção por hora dos moinhos de impacto é de 254,87€ e do reprocessamento 1 é 285,91€.

Solução imediata

Multiplicando estes valores de produção pelas 61 horas, 52 minutos e 30 segundos poupadas anualmente, o lucro anual é de 33 460,86€. A ação de melhoria imediata não necessitou de investimento já que apenas requereu a alteração de parâmetros do processo. Na Tabela 16 estão representados os cálculos associados em detalhe.

Tabela 16 - Análise de custos da alteração da sequência de paragem de equipamentos com resolução imediata

	Remoagem	Reprocessamento 1
Tempo ganho anualmente	61 horas, 52 minutos e 30 segundos	61 horas, 52 minutos e 30 segundos
Valor de produção [€/hora]	254,87	285,91
Ganho anual [€]	15 770,28	17 690,58
Total [€]	33 460,86	

Solução futura

Em relação à resolução futura, na Tabela 17 estão representados os possíveis ganhos com a evolução da unidade de trituração para uma 1ª fase SCADA, cujo valor de investimento é neste momento difícil de quantificar. Com a implementação desta resolução é possível aumentar o valor de produção em 27 884,05€ em relação à resolução imediata.

Tabela 17 - Análise de custos da alteração da sequência de paragem de equipamentos com resolução futura

	Remoagem	Reprocessamento 1
Tempo ganho anualmente	51 minutos, 33 minutos e 45 segundos	51 minutos, 33 minutos e 45 segundos
Valor de produção [€/hora]	254,87	285,91
Ganho anual [€]	13 141,90	14 742,15
Total [€]	27 884,05	

3.7.2 Alteração do fluxo das terras

A Tabela 18 apresenta os ganhos estimados com a implementação da melhoria alteração do fluxo das terras. Com base nos valores apresentados, a projeção de um novo fluxo das terras pode estimar uma poupança de 121 675,85€ anualmente. O investimento tem um valor de 10 000€, em que 7 500€ são para a alteração física do fluxo e 2 500€ para automação e eletrificação do sistema. Assim, é possível concluir que o *payback* da ação de melhoria será de 0,08 anos.

Tabela 18 – Análise de custos da alteração do fluxo das terras

	Remoagem	Reprocessamento 1
Tempo ganho anualmente	225 horas	225 horas
Valor de produção [€/hora]	254,98	285
Ganho anual [€]	57 346,46	64 329,40
Total [€]	121 675,85	

3.7.3 Eficiência energética

3.7.3.1 Troca da bomba de TF

Com base nas previsões para a tarifa final do ano de 2022 para o preço do GN, que a fixam num valor de 0,090 €/kWh, é possível transformar a poupança diária de 1 938,56 kWh em 174,47€. O preço do TF é fixado internamente em 0,07 €/kWh, o que transforma o aumento de TF de 1 477,48 kWh num gasto diário de 103,42€. Considerando a amostragem da Figura 62, em 24 dias posteriores à troca da bomba de

TF a instalação trabalhou cerca de 13, o que extrapolando para o ano resulta em 121 dias de operação da instalação. Assim, a poupança estimada anual é de 8 658,82€. Esta troca de bomba de TF não envolveu qualquer investimento, apenas a alocação da bomba TF para a unidade da 2ª trituração. A Tabela 19 descreve esta análise em detalhe.

Tabela 19 - Análise de custos com a troca da bomba de TF

	Consumo médio diário de GN [kWh]	Consumo médio diário de TF [kWh]
Diferença do consumo médio diário [kWh]	1 938,56	-1 477,48
Diferença do consumo médio diário [€]	174,47	-103,42
Ganho diário [€]		71,05
Dias em que a instalação trabalhou num ano		121
Poupança total [€]		8 658,82

3.7.3.2 Condensação do vapor do PopCork e pré-aquecimento do ar dos secadores

Com os preços de energia anteriormente referidos, somando a poupança das duas energias é possível estimar um valor ganho anual de 111 960€. Em relação ao investimento também não foi possível obter um valor em concreto, mas em contacto com uma empresa, esta previu que estaria compreendido entre 150 000€ e 250 000€. Com estes valores é possível obter um *payback* entre 0,45 e 0,75 anos. Na Tabela 20 é possível consultar os cálculos realizados em maior detalhe.

Tabela 20 – Análise de custos para o possível pré-aquecimento do ar dos secadores através da condensação do vapor do PopCork

	GN	TF
Poupança [kWh]	264 000	1 260 000
Preço da energia [€/kWh]	0,09	0,07
Poupança [€]	23 760	88 200
Total [€]		111 960

3.7.4 Resumo dos ganhos obtidos

De maneira a resumir o valor investido, o lucro obtido e o *payback*, na Tabela 21 estão resumidos estes valores para as várias ações de melhoria.

Tabela 21 - Resumo de análise de custo das várias ações de melhoria

Ação de melhoria		Investimento	Lucro anual	Payback
Alteração da sequência de paragem de equipamentos	Resolução imediata	Sem investimento	33 460,86€	-
	Resolução futura	Investimento não calculado	27 884,05€	-
Alteração do fluxo das terras		10 000€	121 675,85€	0,08 anos
Eficiência energética	Troca da bomba de TF	Sem investimento	8 658,82€	-
	Condensação do vapor do <i>PopCork</i>	150 000 – 250 000€	111 960€	0,45 – 0,75 anos

Através das ações de melhoria implementadas e propostas foi possível aumentar a disponibilidade da linha de trituração. Foram ainda estudados e analisados ganhos que a unidade poderá ter quando um dia integrar um nível superior de automação. Em relação à eficiência energética, após a troca da bomba de TF, não existiu uma amostragem suficientemente grande, mas é possível notar que o consumo de GN diminuiu. A proposta de condensação de vapor do *PopCork* para o pré-aquecimento do ar dos secadores foi a única medida que não foi possível de concretizar, sendo que apenas ficou o seu conceito.

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

- 4.1 Conclusões
- 4.2 Propostas de trabalhos futuros

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS




Neste capítulo é realizado um breve resumo do trabalho realizado e uma análise crítica aos resultados obtidos. Para terminar o capítulo são propostas sugestões de trabalho futuro que foram identificadas, mas não tiveram oportunidade de ser alvo de estudo.



4.1 Conclusões

Com a realização do estágio, foi possível cumprir os objetivos propostos pela organização e também desenvolver capacidades de resiliência, autonomia, proatividade e trabalho em equipa.

Na Tabela 22 apresenta-se um resumo dos objetivos propostos, os problemas identificados, as ações de melhoria e o seu estado de conclusão. Na última coluna, estado de conclusão, o “visto” significa que a ação de melhoria foi implementada e acompanhada, a “ampulheta” significa que foi desenvolvida uma ação de melhoria, contactadas empresas para a sua implementação e orçamentação, mas que infelizmente o tempo de estágio não permitiu que a ação de melhoria fosse concretizada e, por último, a “cruz” significa que não foi possível encontrar uma solução, apenas criar um conceito para o problema identificado.

Tabela 22 - Análise ao estado de conclusão dos objetivos propostos e às ações de melhoria implementadas

Objetivo	Problema	Ação de melhoria	Estado de conclusão
Aumento da disponibilidade da linha de trituração	Disponibilidade da recuperação das terras	Alteração da sequência de paragem de equipamentos	
Melhoria geral da paragem de turno	Sequência de paragem de equipamentos	Alteração da sequência de paragem de equipamentos	
	Fluxo das terras	Alteração do fluxo das terras	

Aumento da eficiência energética	Elevado consumo de energia	Troca da bomba de TF	
	Desperdício de energia	Condensação do vapor do <i>PopCork</i> para o pré-aquecimento do ar dos secadores	

Devido à complexidade da organização, qualquer intervenção que obrigue a alterações estruturais tem que ser analisada por vários departamentos, como Segurança e Saúde no Trabalho, Ambiente, Engenharia de Processo e Manutenção e Logística – Compras. Por esta razão, qualquer ação de melhoria que envolva investimento demora algum tempo desde a sua idealização até à sua implementação.

Desta forma, com a implementação de uma ação de melhoria foi possível resolver dois dos problemas identificados. Esta ação consiste na alteração da sequência de paragem e no ajuste dos tempos de paragem, e por isso não envolveu qualquer investimento. Fruto desta alteração foi possível aumentar a disponibilidade de um equipamento que se demonstrava crítico devido a sucessivos encravamentos, e também reduzir o tempo de paragem em 5 minutos e 30 segundos por turno.

A segunda ação de melhoria consistiu na alteração da troca de uma bomba de TF, com o intuito de aumentar a entrega de TF para reduzir a necessidade de consumir GN, pois o GN é uma energia mais cara que o TF. Esta ação de melhoria não envolveu qualquer investimento, pois a troca foi realizada por mão-de-obra interna da empresa. Com esta troca foi possível poupar 71,05€ ao dia, o que anualmente representa 8 658,82€.

A terceira ação de melhoria consistiu no projeto de um fluxo alternativo para quando se dá a paragem de turno. Para implementação desta ação de melhoria, foram consultadas empresas para orçamentar a projeção do fluxo assim como a sua automação e eletrificação. Com esta ação de melhoria vai ser possível reduzir o tempo de paragem em 20 minutos por turno.

A quarta ação de melhoria idealizada, nomeadamente a condensação do vapor do *PopCork* para o pré-aquecimento do ar dos secadores, não foi possível de projetar devido ao elevado tempo de resposta por parte das empresas. Foi idealizada uma solução e estimados ganhos e investimento para esta solução.

Em suma, é possível concluir que, com a implementação e projeto de ações de melhoria, é possível ganhar 25 minutos e 30 segundos por turno, e também beneficiar de uma redução energética diária de 71,05€.

4.2 Propostas de trabalhos futuros

Não tendo sido possível criar uma solução para a última ação de melhoria, nomeadamente o reaproveitamento do vapor libertado no *PopCork*, sugere-se uma continuação de profunda análise na medida de reaproveitar este vapor que é libertado para a atmosfera como trabalho futuro.

Integradamente nesta proposta de trabalho referida foram identificados outros possíveis trabalhos como:

- Aproveitamento da condensação de água gerada no processo para pré-aquecer a água de alimentação da caldeira;
- Aproveitamento da condensação de água gerada no processo para alimentação a caldeira, fazendo que o sistema funcione num sistema praticamente fechado.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

1. ACC, *Amorim Cork Composites Apresentação*. 2020, Amorim Cork Composites: Santa Maria da Feira, Portugal.
2. Tours, P.P. *A maior árvore de cortiça do mundo*. 2018 [Data de acesso: novembro, 2021]; Disponível em: <https://www.premiumtours.pt/pt/maior-arvore-de-cortica-mundo/>.
3. Amorim, C. *O que é a Cortiça*. 2021 [Data de acesso: novembro, 2021]; Disponível em: <https://www.amorim.com/pt/cortica/o-que-e/>.
4. Gil, L., *Cortiça*, in *Ciência e Engenharia de Materiais de Construção*, F. Margarido and M.C. Gonçalves, Editors. 2012, IST Press: Lisboa, Portugal. p. 663-715.
5. APCOR. *História da Cortiça*. 2018 [Data de acesso: novembro, 2021]; Disponível em: <https://www.apcor.pt/cortica/factos-curiosidades/historia/>.
6. Amorim, *A Arte da Cortiça*. 2014, Amorim Cork Composites: Santa Maria da Feira, Portugal.
7. Neves, P.J.M., *Grandes empresas industriais de um país pequeno: Portugal. Da década de 1880 à 1ª Guerra Mundial*. 2007, Doutorado em História e Económica e Social. Instituto Superior de Economia e Gestão (Universidade Técnica de Lisboa): Lisboa, Portugal.
8. APCOR. *Descortiçamento*. 2018 [Data de acesso: novembro, 2011]; Disponível em: <https://www.apcor.pt/cortica/processo-de-transformacao/descortiçamento/>.
9. Flooring, A.C. *Descortiçamento*. 2020 [Data de acesso: novembro, 2021]; Disponível em: <https://www.amorimcorkflooring.pt/descortiçamento>.
10. Amorim, C. *Cortiça - Características*. 2021 [Data de acesso: novembro, 2021]; Disponível em: <https://www.amorim.com/pt/cortica/caracteristicas/>.
11. APCOR. *O que é?* 2018 [Data de acesso: novembro, 2021]; Disponível em: <https://www.apcor.pt/cortica/o-que-e/>.
12. Moura, E.S.d., *A cortiça não é para ficar escondida. É para ficar à vista*. 2020, Amorim: Carcavelos, Portugal.
13. Amorim. *Aglomerados Compósitos*. 2021 [Data de acesso: novembro, 2021]; Disponível em: <https://www.amorim.com/pt/negocio/unidades-de-negocio/aglomerados-compositos/44/>.
14. Amorim. *Aplicações*. 2021 [Data de acesso: novembro, 2021]; Disponível em: <https://www.amorim.com/pt/cortica/aplicacoes/>.
15. Composites, A.C. *Materiais & Aplicações*. 2021 [Data de acesso: novembro, 2021]; Disponível em: <https://amorimcorkcomposites.com/pt/>.
16. Composites, A.C. *Proteção Térmica Ablativa*. 2020 [Data de acesso: dezembro, 2021]; Disponível em: <https://amorimcorkcomposites.com/pt/materiais-aplica%C3%A7%C3%B5es/ind%C3%BAstria-aeroespacial/>.

17. Composites, A.C. *Accoseal*. 2021 [Data de acesso: dezembro, 2021]; Disponível em: <https://amorimcorkcomposites.com/pt/materiais-aplica%C3%A7%C3%B5es/ind%C3%BAstria-autom%C3%B3vel/accoseal/>.
18. Composites, A.C. *Espere o inesperado*. 2021 [Data de acesso: dezembro, 2021]; Disponível em: <https://amorimcorkcomposites.com/pt/materiais-aplica%C3%A7%C3%B5es/bens-de-consumo/alma-gemea/cole%C3%A7%C3%A3o/>.
19. Composites, A.C. *Terminal de Cruzeiros de Lisboa*. 2021 [Data de acesso: dezembro, 2021]; Disponível em: <https://amorimcorkcomposites.com/pt/materiais-aplica%C3%A7%C3%B5es/constru%C3%A7%C3%A3o/projetos/terminal-de-cruzeiros-de-lisboa/>.
20. Composites, A.C. *Saúde & Ortopedia*. 2021 [Data de acesso: dezembro, 2021]; Disponível em: <https://amorimcorkcomposites.com/pt/materiais-aplica%C3%A7%C3%B5es/cal%C3%A7ado/materiais-aplica%C3%A7%C3%B5es/sa%C3%BAde-e-ortopedia/>.
21. Composites, A.C. *Sistema de Pavimento Alucork*. 2021 [Data de acesso: dezembro, 2021]; Disponível em: <https://amorimcorkcomposites.com/pt/materiais-aplica%C3%A7%C3%B5es/pain%C3%A9is-e-comp%C3%B3sitos/materiais-e-aplica%C3%A7%C3%B5es/materiais-para-pain%C3%A9is-multicamadas/pavimento-modular-multifuncional/>.
22. Sports, A. *Shockpads for Artificial Turf*. 2021 [Data de acesso: dezembro, 2021]; Disponível em: <https://amorim-sports.com/en/products-applications/sport-surfaces/shockpad/>.
23. Silva, L.C.O., M. C.; Silva, F. A., *Implementação da metodologia Seis Sigma para melhoria de processos utilizando o ciclo DMAIC: um estudo de caso em uma indústria automotiva*. *Exacta - EP*, 2017. **15**: p. 223-232.
24. Doss, D., R. Goza, R. Tesiero, B. Gokaraju, e D. McElreath, *The Capability Maturity Model as an industrial process improvement model*. 2017. **4**(2): p. 17-24.
25. Marcelo, M., G. Avila, M. Cruz, B. Prado, e M. Navarro. *Process improvement and utilization of machines in the production area of a shoe manufacturing company*. in *2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. 2016. Bali, Indonésia: IEEE.
26. Moreno, C., *Otimization in Production Operations. Relatório Interno*. 2006, Ultramax Corporation: Cincinnati, EUA.
27. Brannstrom-Stenberg, A. e M. Deleryd, *Implementation of statistical process control and process capability studies: requirements or free will?* *Total Quality Management*, 1999. **10**(4-5): p. 439-446.
28. Rodriguez, R.N., *Recent Developments in Process Capability Analysis*. *Journal of Quality Technology*, 1992. **24**(4): p. 176-187.
29. Ganji, A. e B. Gildeh, *A new multivariate process capability index*. *Total Quality Management & Business Excellence*, 2017.
30. Kotz, S. e N. Johnson, *Process Capability Indices*. 2017, Nova Iorque, EUA: Taylor & Francis. 1-212.
31. Gu, X.-G., W.-T. Tong, M.-M. Han, Y. Wang, e Z. Wang, *Parameter and tolerance economic design for multivariate quality characteristics based on the modified*

- process capability index with individual observations*. IEEE Access, 2019. **7**: p. 59249-59262.
32. Tsai, M.-N., Y.-F. Liao, Y.-L. Chang, e H.-C. Chen, *A brainstorming flipped classroom approach for improving students' learning performance, motivation, teacher-student interaction and creativity in a civics education class*. Thinking Skills and Creativity, 2020. **38**: p. 100747.
 33. Bonnardel, N. e J. Didier, *Brainstorming variants to favor creative design*. Applied ergonomics, 2019. **83**: p. 102987.
 34. Rizi, C.E., M. Najafipour, F. Haghani, e S. Dehghan, *The Effect of the Using the Brainstorming Method on the Academic Achievement of Students in Grade Five in Tehran Elementary Schools*. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2013. **83**: p. 230-233.
 35. Leaphart, C., T. Gonwa, M. Mai, M. Prendergast, H. Wadei, J. Tepas, e B. Taner, *Formal Quality Management Curriculum and DMAIC Modeling Result in Interdisciplinary Collaboration and Process Improvement in Renal Transplant Patients*. The Journal of surgical research, 2012. **177**: p. 7-13.
 36. Ferreira, C., J.C. Sá, L.P. Ferreira, M.P. Lopes, T. Pereira, e F.J.G. Silva, *iLeanDMAIC – A methodology for implementing the lean tools*. Procedia Manufacturing, 2019. **41**: p. 1095-1102.
 37. Seth, D. e V. Gupta, *Application of value stream mapping for lean operations and cycle time reduction: an Indian case study*. Production Planning & Control, 2005. **16**(1): p. 44-59.
 38. Jensen, J., S. Ahire, e M. Malhotra, *Trane/Ingersoll Rand Combines Lean and Operations Research Tools to Redesign Feeder Manufacturing Operations*. Interfaces, 2013. **43**: p. 325-340.
 39. Ohno, T. e N. Bodek, *Toyota production system: beyond large-scale production*. 2019, Nova Iorque, EUA: Taylor & Francis.
 40. Card, A., *The problem with '5 whys'*. BMJ quality & safety, 2016. **26**: p. 005849.
 41. Myszewski, J., *On improvement story by 5 whys*. The TQM Journal, 2013. **25**: p. 371-383.
 42. Madsen, D. e T. Stenheim, *SWOT analysis*, in *Encyclopedia of Tourism Management and Marketing*. 2021, Edward Elgar Publishing: Bournemouth, Reino Unido.
 43. Leigh, D. e R. Watkins, *SWOT Analysis*, in *Handbook of improving performance in the workplace*. 2010, Wiley/Pfeiffer: Califórnia, EUA.
 44. Cheng, L.-C., K. Chen, M.-C. Lee, e K.-M. Li, *User-Defined SWOT analysis – A change mining perspective on user-generated content*. Information Processing & Management, 2021. **58**(5): p. 102613.
 45. Yener, Y. e G.F. Can, *A FMEA based novel intuitionistic fuzzy approach proposal: Intuitionistic fuzzy advance MCDM and mathematical modeling integration*. Expert Systems with Applications, 2021. **183**: p. 115413.
 46. Ford, *Failure Mode and Effects Analysis 2011*, Ford Motor Company: Detroit, EUA.
 47. AIAG, *Failure Mode and Effects Analysis*. 2019, Automotive Industry Action Group: Michigan, EUA.

48. Ghani, R. e Engineering, *Integration of FMECA and statistical analysis for predictive maintenance*. Journal of Applied Research in Technology, 2021. **2**(1): p. 33-37.
49. Garcia, P., L. Perez, D. Luviano-Cruz, J. Solano, E.A. Martínez, e M. Callejas Cuervo, *PFDA-FMEA, an integrated method improving FMEA assessment in product design*. Applied Sciences, 2021. **11**: p. 1406.
50. Balinado, J.R. e Y. Prasetyo, *The Impact of 5S Lean Tool to Service Operation: A Case Study in Toyota Dasmarinas-Cavite Service Operations*, in *ICIBE 2020: 2020 The 6th International Conference on Industrial and Business Engineering*. 2020: Macau, China. p. 185-190.
51. Chandrayan, B., A.K. Solanki, e R. Sharma, *Study of 5S lean technique: a review paper*. International Journal of Productivity, 2019. **26**(4): p. 469-491.
52. Omogbai, O. e K. Salonitis, *The Implementation of 5S Lean Tool Using System Dynamics Approach*. Procedia CIRP, 2017. **60**: p. 380-385.
53. Filip, F. e V. Mărăscu-Klein, *The 5S lean method as a tool of industrial management performances*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2015. **95**: p. 012127.
54. Dangat, S., D. Patel, e A. Kuchekar, *Design Space by Design of Experiments*. Journal of Pharmaceutical Research International, 2021. **33**: p. 7-18.
55. Ramachandran, K.M. e C.P. Tsokos, *Chapter 8 - Design of experiments*, in *Mathematical Statistics with Applications in R (Third Edition)*, K.M. Ramachandran and C.P. Tsokos, Editors. 2021, Academic Press: São Diego, EUA. p. 343-368.
56. Durakovic, B., *Design of experiments application, concepts, examples: State of the art*. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 2017. **5**: p. 421-439.
57. Hron, J. e T. Macak, *Application of design of experiments to welding process of food packaging*. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 2013. **61**: p. 909-915.
58. Goud, M. e A. Sharma, *Modeling and prediction of heat affected zone in electrochemical discharge drilling operations using artificial neural network and regression method*, in *National Conference on Statistical and Analytical Methods in Production and Industrial Engineering*. 2016: Chandigarh, India. p. 147-152.
59. Zhao, Z., M. Xie, Y. Li, A.-Z. Chen, J. Zhang, H. Hu, X. Wang, e S. Li, *Formation of curcumin nanoparticles via solution-enhanced dispersion by supercritical CO₂*. International journal of nanomedicine, 2015. **10**: p. 3171-81.
60. da Silva, L.F.M., G.W. Critchlow, e M.A.V. Figueiredo, *Parametric Study of Adhesively Bonded Single Lap Joints by the Taguchi Method*. Journal of Adhesion Science and Technology, 2008. **22**(13): p. 1477-1494.
61. Rodrigues, H., F.J.G. Silva, L. Morgado, J. Sá, L. Pinto Ferreira, e R. Campilho, *A novel computer application for scrap reporting and data management in the manufacturing of components for the automotive industry*. Procedia Manufacturing, 2020. **51**: p. 1319-1326.
62. Barbosa, B., M. Pereira, F.J.G. Silva, e R. Campilho, *Solving Quality Problems in Tyre Production Preparation Process: A Practical Approach*. Procedia Manufacturing, 2017. **11**: p. 1239-1246.
63. Rosa, C., F.J.G. Silva, e L. Pinto Ferreira, *Improving the Quality and Productivity of Steel Wire-rope Assembly Lines for the Automotive Industry*. Procedia Manufacturing, 2017. **11**: p. 1035-1042.

64. Shang, Y., Y. Sun, e A. Xu, *Rural ecotourism planning and design based on SWOT analysis*. International Journal of Low-Carbon Technologies, 2020. **15**: p. 368-372.
65. Santos, R.F.L., F.J.G. Silva, R.M. Gouveia, R.D.S.G. Campilho, M.T. Pereira, e L.P. Ferreira, *The improvement of an APEX machine involved in the tire manufacturing process*. Procedia Manufacturing, 2018. **17**: p. 571-578.
66. Chandrasekaran, R., R.D.S.G. Campilho, e F.J.G. Silva, *Reduction of scrap percentage of cast parts by optimizing the process parameters*. Procedia Manufacturing, 2019. **38**: p. 1050-1057.
67. Das, T., *Quality Industrial Environmental Management*, in *Industrial Environmental Management*. 2020, Wiley: Texas, EUA. p. 453-480.
68. Wilson, J. e L. Campbell, *Developing a knowledge management policy for ISO 9001: 2015*. Journal of Knowledge Management, 2016. **20**: p. 829-844.
69. Elassy, N., *The concepts of quality, Quality Assurance and Quality Enhancement*. Quality Assurance in Education, 2015. **23**: p. 250-261.
70. Green, D., *What Is Quality in Higher Education?* 1994, Londres, Reino Unido: ERIC.
71. Mohd Daril, M.A., M.I. A.W, F. Abu Bakar, e K. Subari, *The Implementation Effectiveness of Quality Tools and Techniques*. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 2020. **9**: p. 191-198.
72. Leffler, K., K.S. Alfredsson, e U. Stigh, *Shear behaviour of adhesive layers*. International Journal of Solids and Structures, 2007. **44**(2): p. 530-545.
73. Sousa, S., N. Rodrigues, e E. Nunes, *Application of SPC and Quality Tools for Process Improvement*. Procedia Manufacturing, 2017. **11**: p. 1215-1222.
74. Damelio, R., *The Basics of Process Mapping*. Vol. 2. 2011, Nova Iorque, EUA: CRC Press.
75. Spath, P., *Flow Charting for Quality Improvement*. Journal of quality assurance : a publication of the National Association of Quality Assurance Professionals, 1991. **13**: p. 20-4.
76. Bonfatti Júnior, E., E. Lengowski, e A. Júnior, *Mapeamento do processo produtivo de erva-mate*. Reviste Internacional de Ciências, 2018. **8**: p. 82-98.
77. Lemos, T., L.F. Campos, A. Melo, N. Clavijo, R. Soares, M. Câmara, T. Feital, T. Anzai, e J.C. Pinto, *Echo State Network Based Soft Sensor for Monitoring and Fault Detection of Industrial Processes*. Computers & Chemical Engineering, 2021. **155**: p. 107512.
78. Murdock, H., *Auditor Essentials: 100 Concepts, Tools, and Techniques for Success*. 2018, Massachusetts, EUA: CRC Press.
79. Magar, V. e V. Shinde, *Application of 7 quality control (7 QC) tools for continuous improvement of manufacturing processes*. International Journal of Engineering Research and General Science, 2014. **2**(4): p. 364-371.
80. Neyestani, B., *Seven basic tools of quality control: The appropriate techniques for solving quality problems in the organizations*. Munich Personal RePEc Archive, 2017. **Março**: p. 1-10.
81. Abdul Samat, H., E.I. Basri, N. Harun, S. Wee, e S. Kamaruddin, *Preventive Maintenance Checklist towards Effective Maintenance System: A Case Study in Semiconductor Industry*. Advanced Materials Research, 2013. **748**: p. 1208-1211.

82. Yazdani, A.-A. e R. Tavakkoli-Moghaddam, *Integration of the fish bone diagram, brainstorming, and AHP method for problem solving and decision making—a case study*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2012. **63**: p. 651-657.
83. Ruggeri, F., R. Kenett, e F. Faltin, *Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability*. Vol. 2. 2007, Nova Iorque, EUA: John Wiley & Sons, Ltd.
84. Wilkinson, L., *Revising the Pareto Chart*. The American Statistician, 2006. **60**(4): p. 332-334.
85. Sbert, M., C. Ancuti, A. Codruta, J. Poch, S. Chen, e M. Vila, *Histogram Ordering*. IEEE Access, 2021. **9**: p. 28785-28796.
86. Friendly, M. e D. Denis, *The Early Origins and Development of the Scatterplot*. Journal of the History of the Behavioral Sciences, 2005. **41**(2): p. 103-130.
87. Rahlf, T., *Data Visualisation with R: 111 Examples*. Vol. 2. 2019, Cham, Suíça: Springer.
88. Basu, R., *Implementing Six Sigma and Lean*. Vol. 1. 2009, Oxford, Reino Unido: Elsevier.
89. Silva, J., F. Silva, R. Campilho, J. Sá, e L. Ferreira, *A Model for Productivity Improvement on Machining of Components for Stamping Dies*. International Journal of Industrial Engineering and Management, 2021. **12**: p. 85-102.
90. Breen, S.L. e B. Zhang, *Audit of an automated checklist for quality control of radiotherapy treatment plans*. Radiotherapy and Oncology, 2010. **97**(3): p. 579-584.
91. Lopes, R., F.J.G. Silva, R. Godina, R. Campilho, T. Dieguez, L. Pinto Ferreira, e A. Baptista, *Reducing scrap and improving an air conditioning pipe production line*. Procedia Manufacturing, 2020. **51**: p. 1410-1415.
92. Gentle, S., G. Ferzli, L. Winter, A. Salas, e J. Philips, *Oxygen saturation histogram monitoring to reduce death or retinopathy of prematurity: a quality improvement initiative*. Journal of Perinatology, 2020. **40**: p. 163-169.
93. Zhang, L., F.S. Kong, S.Q. Fan, e S. Jiang. *Research on quality control of ship painting based on improved scatter plot*. in *2011 IEEE 18th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. 2011. Changchun, China.

APÊNDICES

- 6.1 Apêndice 1 – Formulário de recolha de dados
- 6.2 Apêndice 2 – OPL sequência de paragem

6 APÊNDICES

6.1 Apêndice 1 – Formulário de recolha de dados

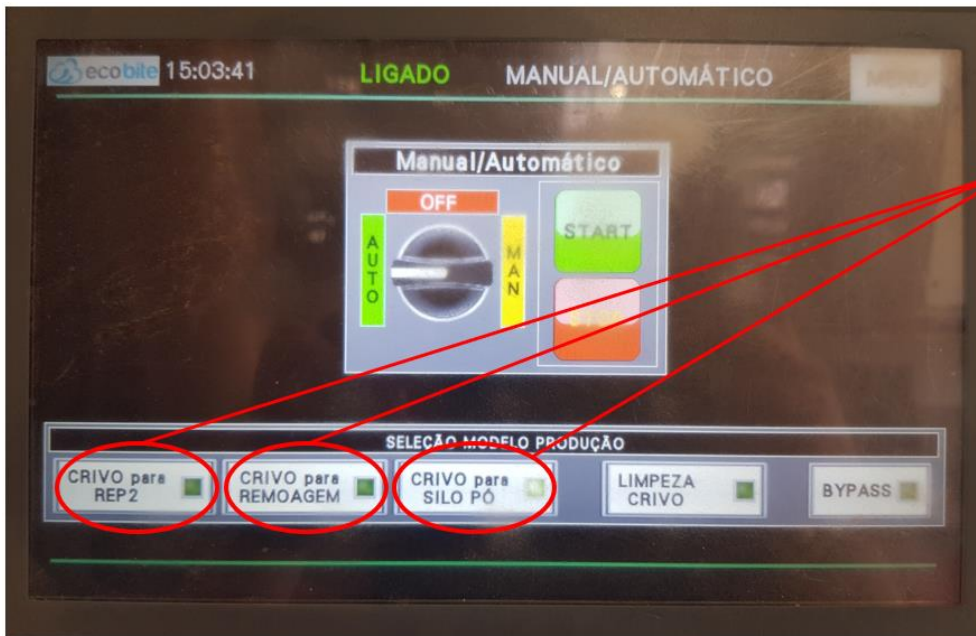
<p>Data:</p>	<p>Hora de paragem:</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">FIL 167 – SILOS NOVOS</td> </tr> <tr> <td>Paragem ventilador:</td> </tr> <tr> <td>Fim batimentos/ paragem eclusa:</td> </tr> </table>	FIL 167 – SILOS NOVOS	Paragem ventilador:	Fim batimentos/ paragem eclusa:						
FIL 167 – SILOS NOVOS											
Paragem ventilador:											
Fim batimentos/ paragem eclusa:											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">FIL – Transporte BigBags</td> </tr> <tr> <td>Paragem ventilador:</td> </tr> <tr> <td>Fim batimentos/ paragem eclusa:</td> </tr> </table>	FIL – Transporte BigBags	Paragem ventilador:	Fim batimentos/ paragem eclusa:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">FIL 085 – Pó/Saco</td> </tr> <tr> <td>Paragem ventilador:</td> </tr> <tr> <td>Fim batimentos/ paragem eclusa:</td> </tr> </table>	FIL 085 – Pó/Saco	Paragem ventilador:	Fim batimentos/ paragem eclusa:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">FIL 089 – TERRAS</td> </tr> <tr> <td>Paragem ventilador:</td> </tr> <tr> <td>Fim batimentos/ paragem eclusa:</td> </tr> </table>	FIL 089 – TERRAS	Paragem ventilador:	Fim batimentos/ paragem eclusa:
FIL – Transporte BigBags											
Paragem ventilador:											
Fim batimentos/ paragem eclusa:											
FIL 085 – Pó/Saco											
Paragem ventilador:											
Fim batimentos/ paragem eclusa:											
FIL 089 – TERRAS											
Paragem ventilador:											
Fim batimentos/ paragem eclusa:											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">FIL 100 – Alim. Silos</td> </tr> <tr> <td>Paragem ventilador:</td> </tr> <tr> <td>Fim batimentos/ paragem eclusa:</td> </tr> </table>	FIL 100 – Alim. Silos	Paragem ventilador:	Fim batimentos/ paragem eclusa:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">FIL 102 – Densimétricas</td> </tr> <tr> <td>Paragem ventilador:</td> </tr> <tr> <td>Fim batimentos/ paragem eclusa:</td> </tr> </table>	FIL 102 – Densimétricas	Paragem ventilador:	Fim batimentos/ paragem eclusa:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">FIL 107 – Despoejamento</td> </tr> <tr> <td>Paragem ventilador:</td> </tr> <tr> <td>Fim batimentos/ paragem eclusa:</td> </tr> </table>	FIL 107 – Despoejamento	Paragem ventilador:	Fim batimentos/ paragem eclusa:
FIL 100 – Alim. Silos											
Paragem ventilador:											
Fim batimentos/ paragem eclusa:											
FIL 102 – Densimétricas											
Paragem ventilador:											
Fim batimentos/ paragem eclusa:											
FIL 107 – Despoejamento											
Paragem ventilador:											
Fim batimentos/ paragem eclusa:											

6.2 Apêndice 2 – OPL sequência de paragem

ONE POINT LESSON (OPL)

Tema:	Alteração de sequência de paragem		
Responsabilidade:	Tiago Gonçalves	Data:	25 / 05 / 2022

- 1 Garantir que a crivagem está a trabalhar num dos modos assinalados na figura abaixo.



- 2 Verificar se a crivagem está a trabalhar em modo automático.



ONE POINT LESSON (OPL)

Tema:	Alteração de sequência de paragem		
Responsabilidade:	Tiago Gonçalves	Data:	25 / 05 / 2022

3 Efetuar paragem da crivagem.



4 Imediatamente a seguir, efetuar a paragem do quadro dos filtros da 1ª trituração.

