



OTIMIZAÇÃO DE EMBALAGEM METÁLICA PARA TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS

TERESA RAQUEL BARROS BARBOSA

outubro de 2019

OTIMIZAÇÃO DE EMBALAGEM METÁLICA PARA TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS

Teresa Raquel Barros Barbosa
1141125

2018-2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

OTIMIZAÇÃO DE EMBALAGEM METÁLICA PARA TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS.

Teresa Raquel Barros Barbosa
1141125

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 Francisco José Gomes da Silva e coorientação do Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, Professores Adjuntos do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto.

2018-2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Doutor Paulo António da Silva Ávila

Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Co-orientador

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor Fernando Jorge Lino Alves

Professor Associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

Todo este trabalho só foi possível graças á dedicação e apoio de todos os envolvidos. Desta forma, agradeço, em primeiro lugar à Colep Portugal e aos seus colaboradores, que me acolheram de forma exemplar. Aqui saliento a equipa da área técnica, que me disponibilizou um excelente ambiente de trabalho e me prestou ajuda sempre que necessário.

Agradeço também ao Eng. Mário Vaz, orientador deste projeto na empresa e a toda a equipa deste projeto, por me orientarem e acompanharem durante este percurso.

Ao meu orientador do ISEP, Doutor Francisco José Gomes da Silva e ao meu co-orientador, Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, um agradecimento pela disponibilidade, apoio e paciência apresentada durante todo este percurso.

Quero também agradecer aos meus pais e ao meu irmão, por todo o apoio demonstrado, não só na minha vida académica, mas em todos os desafios que encontrei ao longo dos anos. Sem eles nada disto era possível.

Por fim, um agradecimento muito especial ao Nuno, que sempre me acompanha nos meus desafios, mostrando-se um companheiro incansável.

PALAVRAS CHAVE

Produtos perigosos, Embalagens UN, Desenvolvimento do produto, Cumprimento da legislação, Embalagens metálicas

RESUMO

A redução de consumo de matéria-prima no fabrico de embalagens, tem associado um elevado leque de vantagens. Quando um produtor reduz o peso da sua embalagem, aumenta a sua competitividade, tornando-a mais económica e diminui o seu impacto ambiental. Neste contexto nasceu o projeto de redução de espessuras de uma embalagem homologada para o transporte de produtos perigosos da COLEP.

As embalagens certificadas para transporte de produtos perigosos, embalagens UN, têm de resistir a testes exigentes, para garantir a segurança da sociedade e do meio ambiente, durante o seu transporte. A redução de espessuras de uma embalagem UN é assim um desafio, pois a robustez da embalagem não pode ser afetada pela sua redução de espessuras. Para que isto seja possível, é necessário otimizar a geometria da embalagem e o seu sistema de fecho.

Já com uma redução de espessuras predefinida a implementar, este projeto tem como objetivo o aumento da resistência da embalagem. Para tal, foram realizados ensaios para verificar o estado atual da embalagem com a redução de espessuras, e posteriormente estudadas possíveis soluções para a melhoria das fragilidades encontradas.

As melhorias tiveram como base de estudo ferramentas da qualidade, nomeadamente o uso do diagrama de *Ishikawa*, para identificar as áreas com maior impacto na embalagem. Também foi realizado um benchmarking, onde foi possível analisar diferentes soluções presentes no mercado.

Para além das ferramentas de qualidade, foi usada uma ferramenta de análise numérica, ABAQUS CAE® para estudo do comportamento da embalagem, em que foram analisadas as solicitações criadas pelos ensaios UN.

A validação dos estudos foi realizada através do fabrico de protótipos com diferentes soluções para o rebordo e para o tampo da embalagem. Os ensaios realizados aos protótipos demonstram uma melhoria nos ensaios UN e no tempo de abertura da embalagem. Este conjunto de soluções mutuamente aplicadas na embalagem levam à sua melhoria.

KEYWORDS

Dangerous goods, UN packages, Product development, According to the legislation, Metal packaging

ABSTRACT

The reduction in the consumption of the raw materials for packages is associated with a broad range of benefits. When the producer reduces the package weight, he consequently increases his competitiveness, making the package more economic and lowering the package environmental impact. In this regard, it has been developed a project based on the reduction of the thickness in one of the homologated packages for the transportation of dangerous materials of COLEP.

The certified packages for the transportation of dangerous goods need to withstand very demanding tests to ensure the safety of the society and the environment.

Therefore, the reduction of the thickness in the UN packages is indeed a tough challenge because the sturdiness of the package can't be compromised by the thickness reduction. To make this situation valid, it is necessary to optimize the package geometry and its closing system.

Thus, having an already predefined reduction to make, some tests have been made to verify the actual state of the package with a lower thickness and followed by that it was studied the possible solutions to improve the weaknesses that have been found.

The improvements were made accordingly to the quality tools, namely the use of the Ishikawa diagram to identify the areas with more impact in the package. It was also made a benchmark where it was possible to analyze the different solutions already present in the market.

In addition to the quality tools and to observe the package behavior under the required applications of the UN test, it was used a numerical analyze tool named ABAQUS CAE.

Different prototypes were made using different curls and lug lids in order to validate the studies. The tests in which the prototypes were subjected to show an improvement on UN tests and in the package opening time. Improvements were made when these solutions were applied to the packages.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

Termo	Designação
ADR	Acordo relativo ao transporte internacional de mercadorias por estrada
CNE	Centro Nacional da Embalagem
FEM	<i>Finite Element Method</i>
GL	<i>General Line</i>
IBC	<i>International Benchmarking Clearinghouse</i>
ICAO	Instruções técnica da organização da aviação civil internacional para o transporte seguro de mercadorias perigosas via aérea
IMDG	Código marítimo internacional de mercadorias perigosas
ONU	Organização das Nações Unidas
PU	Poliuretano
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
RID	Regulamento relativo ao transporte ferroviário internacional de mercadorias perigosas
RP	Ponto de rotação

Lista de Unidades

Termo	Designação
°C	Grau Celsius
GPa	Gigapascal
Kg	Kilograma
KPa	Kilopascal
l	Litro
m	Metro
mm	Milímetro
min	Minutos
MPa	Megapascal
s	Segundos

Lista de Símbolos

Termo	Designação
c	Espaçamento entre o enrolado do rebordo e a parede do balde
C	Volume de água necessário para ocupar 98% da capacidade da embalagem
d	Densidade de produto a transportar na embalagem
d_c	Diâmetro de corte
H	Altura de empilhamento das embalagens
h_1	Altura total da embalagem a ser ensaiada
M_1	Carga de empilhamento
M_2	Massa da embalagem cheia e fechada
t	Espessura da folha-de-flandres

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Termo	Designação
Capacidade máxima	Volume interior máximo dos recipientes ou das embalagens, expresso em metros cúbicos ou litros.
Embalador	Empresa que enche as mercadorias perigosas nas embalagens e, se for o caso, prepara os volumes para fins de transporte.
Embalagem	Um ou vários recipientes e todos os restantes elementos necessários, para o cumprimento da sua função de retenção, e todas as restantes funções de proteção.
Fecho	Dispositivo que serve para fechar a abertura de um recipiente.
Número ONU	Número de identificação de quatro algarismos das matérias ou objetos extraídos do regulamento da ONU.
Rebordo	Parte superior do corpo da embalagem que suporta o fecho, geralmente constituído por parede enrolada do corpo da embalagem.
Transporte	Deslocação de mercadorias, incluindo as paragens impostas pelas condições de transporte e abrangendo a permanência das mercadorias no veículo antes, durante e depois da deslocação.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - DIFERENTES ETAPAS DO PROJETO	4
FIGURA 2 - CLASSIFICAÇÃO DE EMBALAGENS SEGUNDO O ADR/RPE 2019 (NETO, 2017)	11
FIGURA 3 - CLASSIFICAÇÃO DE EMBALAGENS SEGUNDO A SUA FUNÇÃO, ADAPTADA DE (HENRY & ANNE, 2012).	11
FIGURA 4 - DIFERENTES CAMADAS QUE CONSTITUEM A FOLHA-DE-FLANDRES (CSN, 2019)	13
FIGURA 5 - FOLHA-DE-FLANDRES COM DIFERENTES FORMATOS (JFE, N.D.)	14
FIGURA 6 - ESQUEMA PARA CORTE DE PROVETES PARA ENSAIOS DE TRAÇÃO (EN 10202:2001).....	16
FIGURA 7 - DIFERENTES APLICAÇÕES DA FOLHA-DE-FLANDRES (TATA, 2016).....	16
FIGURA 8 - ESQUEMA DE FECHO POR ATRITO (ISO 90-2, 1997)	17
FIGURA 9 - DIFERENTES FECHOS DE PRESSÃO COM ARGOLA A) FECHO 1T, B) FECHO 3T (THEOBALD & WINDER, 2009)	18
FIGURA 10 - EXEMPLO DE EMBALAGEM COM FECHO DE GARRAS (COLEP, 2018)	18
FIGURA 11 - ESQUEMA DE FECHO POR GARRAS (THEOBALD & WINDER, 2009)	18
FIGURA 12 - INSTRUÇÕES DE FECHO DE BALDE UN PARA TAMPO DE GARRAS, ADAPTADO DE (EMBALLATOR, N.D.) E DE (DULIN, 2006)	19
FIGURA 13 - ESQUEMA DE FECHO DE EMBALAGEM COM ARO BALESTRA (THEOBALD & WINDER, 2009)	19
FIGURA 14 - IMAGEM DE BALDE COM FECHO DE ARO METÁLICO (HILDERING, N.D.)	19
FIGURA 15 - ESQUEMA DE FECHO DE EMBALAGEM TULIPA (SEM O ARO) [THEOBALD & WINDER, 2009]	20
FIGURA 16 - EMBALAGEM COM FECHO TULIPA (COLEP, 2018)	20
FIGURA 17 - A) EMBALAGEM RETANGULAR CRAVADA, QUE CONTÉM TAMPO COM BOCAL B) DIFERENTES BOCAIS USADOS PARA FECHOS POR CRAVAÇÃO (THEOBALD & WINDER, 2009)	20
FIGURA 18 - SISTEMA DE FECHO POR DESLIZAMENTO ADAPTADO DE (THEOBALD & WINDER, 2009).....	21
FIGURA 19 - SUBOPERAÇÕES DA PRIMEIRA OPERAÇÃO DE CRAVAÇÃO (BRUTON, 2005)	21
FIGURA 20 - SEGUNDA OPERAÇÃO DA DE CRAVAÇÃO ONDE DE REALIZA TODA A COMPACTAÇÃO DA FOLHA (BRUTON, 2005)	22
FIGURA 21 - TERMINOLOGIA USADA PARA AS DIMENSÕES DE UMA CRAVAÇÃO (BRUTON, 2005).....	22
FIGURA 23 - AVALIAÇÃO DA ONDULAÇÃO DE UMA CRAVAÇÃO DUPLA PELO MÉTODO DA DESCORTICAGEM DA LATA	23
FIGURA 22 - IMAGEM DE CRAVAÇÃO TRIPLA OBSERVADA A PARTIR DE UM RAO X	23
FIGURA 24 - ACIDENTES DEVIDO A MAU ACONDICIONAMENTO DE MERCADORIAS PERIGOSAS, A) (GREY, 2018), B) (GULDNER, 2017).....	26
FIGURA 25 - MARCAÇÃO UN, ADAPTADO DE (ADR/RPE, 2019).....	33
FIGURA 26 - TIPOS DE ELEMENTOS DISPONÍVEIS PARA DEFINIR ESTRUTURAS, ADAPTADO DE (ABAQUS, 2016A).....	35
FIGURA 27 - ELEMENTOS BIDIMENSIONAIS USADOS PARA ESTRUTURAS LAMINARES, ADAPTADO DE (ABAQUS, 2016B)	36
FIGURA 28 - MALHAS COM DIFERENTES TIPOS DE ELEMENTOS BIDIRECIONAIS (ABAQUS, 2016B).....	36

FIGURA 29 - SISTEMA DE FECHO DE UMA EMBALAGEM METÁLICA ESTUDADA POR (LOMBARKIA <i>ET AL.</i> , 2013)	38
FIGURA 30 - ESQUEMA DE DIAGRAMA DE ISHIKAWA (6 MS) (KIRAN, 2017)	39
FIGURA 31 - DIFERENTES MODELOS DE EMBALAGENS PRODUZIDOS NA COLEP	46
FIGURA 32 - EMBALAGEM COM A REFERÊNCIA TC 286 P UN (COLEP, 2018)	47
FIGURA 33 - SISTEMA DE FECHO DO BALDE DE GARRAS	48
FIGURA 34 - SIMBOLOGIA DAS CLASSES ADMITIDAS NO TC 286 P UN, ADAPTADO DE (ADR/RPE, 2019)	48
FIGURA 35 - ESQUEMA DO PROCESSO DE FABRICO DE BALDES UN E DO RESPETIVO TAMPO	49
FIGURA 36 - CURVA TENSÃO DEFORMAÇÃO DO ENSAIO DE TRAÇÃO DO PROVETE Nº 1 OBTIDO NO SENTIDO DA LAMINAGEM	52
FIGURA 37 - CURVA TENSÃO DEFORMAÇÃO DO ENSAIO DE TRAÇÃO DO PROVETE Nº 7 OBTIDO NO SENTIDO PERPENDICULAR À LAMINAGEM	53
FIGURA 38 - CURVA TENSÃO DEFORMAÇÃO DO ENSAIO DE TRAÇÃO DO PROVETE Nº 13 OBTIDO NO SENTIDO PERPENDICULAR À LAMINAGEM	54
FIGURA 39 - MÁQUINA DE FECHAR BALDES COLEP	55
FIGURA 40 - ASPETO VISUAL DA EMBALAGEM APOS O FECHO COM A FERRAMENTA COLEP, A) VISTA FRONTAL DO FECHO B) PORMENOR ENTRE GARRAS	55
FIGURA 41 - RECORTE NA ZONA DE FECHO DA EMBALAGEM COLEP, A) CORTE A INCIDIR NA GARRA, B) CORTE A INCIDIR ENTRE GARRAS.....	56
FIGURA 42 - RECORTE NA ZONA DE FECHO DA EMBALAGEM ALVO DESTE TRABALHO, A) CORTE A INCIDIR NA GARRA, B) CORTE A INCIDIR ENTRE GARRAS	56
FIGURA 43 - SEQUENCIA DE IMAGENS DE UM ENSAIO DE QUEDA OBLÍQUA SOBRE O FUNDO.....	57
FIGURA 44 - EMBALAGENS APÓS O ENSAIO DE QUEDA OBLÍQUA SOBRE O FUNDO.....	58
FIGURA 45 - SEQUÊNCIA DE IMAGENS DE UM ENSAIO DE QUEDA OBLÍQUA SOBRE O TAMPO	58
FIGURA 46 - DIFERENTES DEFORMAÇÕES NOS ENSAIOS DE PRESSÃO HIDRÁULICA	59
FIGURA 47 - DIAGRAMA DA HISTÓRIA DO PRODUTO TC 286 P UN	60
FIGURA 48 - DIAGRAMA CAUSA EFEITO PARA A PERFORMANCE DA EMBALAGEM NOS ENSAIOS PARA HOMOLOGAÇÃO	60
FIGURA 49 - MATRIZ DE ESFORÇO/IMPACTO DO PROJETO	61
FIGURA 50 - RECOMENDAÇÕES DE FECHO PARA BALDES DE GARRAS, ADAPTADO DE (DULIN, 2006)	63
FIGURA 51 - INSTRUÇÕES DE FECHO PARA BALDE DE GARRAS UN (EMBALLATOR, N.D.)	64
FIGURA 52 - INSTRUÇÃO DE FECHO: A) ETAPA 1, B) ETAPA 2, ADAPTADO DE (DULIN, 2006)	64
FIGURA 53 - REBORDO DE BALDE COLEP	65
FIGURA 54 - REBORDO DOS DIFERENTES CONCORRENTES, A) CONCORRENTE A, B) CONCORRENTE, C) CONCORRENTE C	65
FIGURA 55 - SOLUÇÃO DE REBORDO DE FABRICANTE DESCONHECIDO	65
FIGURA 56 - PERFIL DA GARRA DO BALDE COLEP ATUAL.....	66
FIGURA 57 - DIFERENTES PERFIS DE GARRAS DAS EMPRESAS CONCORRENTES: A) CONCORRENTE A, B) CONCORRENTE B, C) CONCORRENTE C.....	66
FIGURA 58 - ABERTURA DE BALDES UN. A) BALDE DO CONCORRENTE C, B) BALDE DA COLEP ATUAL.....	67
FIGURA 59 - PERFIL DO PAINEL DO BALDE DE GARRAS UN.....	68
FIGURA 60 - ESQUEMA DO TAMPO DE GARRAS DO CONCORRENTE F	68
FIGURA 61 - ESQUEMA DE TAMPO DE GARRAS DA PIPELINE PACKAGING (PELINEPACKAGING, N.D.)	68

FIGURA 62 - CORTE DO FECHO DO BALDE DE GARRAS DA EMBALLATOR (EMBALLATOR, N.D.)	68
FIGURA 63 - REBORDO TEÓRICO COLEP COM DIFERENTES SOLICITAÇÕES	69
FIGURA 64 - CORTE NA ZONA DE FECHO DEFORMADA POR ENSAIO DE QUEDA SOBRE O FUNDO	69
FIGURA 65 - COMPONENTES USADOS PARA ESTUDAR O FECHO DA EMBALAGEM. A) TAMPO, POLIURETANO E BALDE B) GARRA DA FERRAMENTA	70
FIGURA 66 - ASSEMBLY DOS COMPONENTES PARA SIMULAÇÃO DO FECHO	71
FIGURA 67 – A) SOLUÇÃO DO FECHO DO BALDE COLEP, B) CORTE NA ZONA DE FECHO DE UMA EMBALAGEM COLEP	71
FIGURA 68 - SOLUÇÃO A PARA O REBORDO	72
FIGURA 69 - SOLUÇÃO B PARA O REBORDO.....	72
FIGURA 70 - SOLUÇÃO C PARA O REBORDO.....	72
FIGURA 71 - SOLUÇÃO D PARA O REBORDO	72
FIGURA 72 - ASSEMBLY DOS COMPONENTES PARA SIMULAÇÃO DO FECHO COM SOLUÇÃO C.....	73
FIGURA 73 – SOLUÇÃO DA SIMULAÇÃO DO FECHO COM A SOLUÇÃO C PARA O REBORDO	74
FIGURA 74 - ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DE UMA GARRA	74
FIGURA 75 - PORMENOR DO ESQUEMA DO PERFIL DE CORTE DO TAMPO DA SOLUÇÃO A	75
FIGURA 76 - PORMENOR DO ESQUEMA DO PERFIL DE CORTE DO TAMPO DA SOLUÇÃO B.....	76
FIGURA 77 - PORMENOR DO ESQUEMA DO PERFIL DE CORTE DO TAMPO DA SOLUÇÃO C.....	76
FIGURA 78 - PORMENOR DO ESQUEMA DO PERFIL DE CORTE DO TAMPO DA SOLUÇÃO D	76
FIGURA 79 - PORMENOR DO ESQUEMA DO PERFIL DE CORTE DO TAMPO DA SOLUÇÃO E.....	77
FIGURA 80 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS DIFERENTES ÁREAS DO PAINEL DO TAMPO	77
FIGURA 81 - A) CORTE DA PARTE DEFINIDA PARA ESTUDO DA PRESSÃO HIDRÁULICA, B) SOLUÇÃO USADA PARA A UNIÃO DO TAMPO COM O CORPO	78
FIGURA 82 - VALORES USADOS PARA DEFINIR AS PROPRIEDADES NÃO LINEARES (TENSÃO/DEFORMAÇÃO) DO MATERIAL.....	79
FIGURA 83 - DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES FRONTEIRA DA EMBALAGEM.....	79
FIGURA 84 - DEFORMAÇÃO DA COVA DO TAMPO NO ENSAIO DE PRESSÃO HIDRÁULICA.....	80
FIGURA 85 - SIMULAÇÃO DO PAINEL DO TAMPO COLEP À PRESSÃO INTERNA (TENSÕES DE VON MISES)	80
FIGURA 86 - SIMULAÇÃO DO PAINEL DO TAMPO COLEP À PRESSÃO INTERNA (DESLOCAMENTO)	80
FIGURA 89 - SIMULAÇÃO DA SOLUÇÃO B SOLICITADA COM PRESSÃO INTERNA (TENSÕES DE VON MISES)	83
FIGURA 90 - SIMULAÇÃO DA SOLUÇÃO B SOLICITADA COM PRESSÃO INTERNA (DESLOCAMENTO)	83
FIGURA 91 - SIMULAÇÃO DA SOLUÇÃO C SOLICITADA COM PRESSÃO INTERNA TENSÕES DE VON MISES)	83
FIGURA 92 - SIMULAÇÃO DA SOLUÇÃO C SOLICITADA COM PRESSÃO INTERNA (DESLOCAMENTO)	84
FIGURA 93 - SIMULAÇÃO DA SOLUÇÃO D SOLICITADA COM PRESSÃO INTERNA (TENSÕES DE VON MISES)	85
FIGURA 94 - SIMULAÇÃO DA SOLUÇÃO D SOLICITADA COM PRESSÃO INTERNA (DESLOCAMENTO)	85
FIGURA 95 - ESQUEMA DO PROCESSO DE FABRICO DO PRÉ-AMEAÇO.....	86
FIGURA 96 - ESQUEMA DE PRODUÇÃO DE NOVO REBORDO.....	86
FIGURA 97 - CORTES REALIZADOS PARA VALIDAÇÃO DA PRODUÇÃO DO NOVO REBORDO A) CORTE REBORDO B) CORTE NO FECHO	87

FIGURA 98 - ESQUEMA DE PRODUÇÃO DOS TAMPOS PROTÓTIPOS COM NOVA GEOMETRIA DE GARRAS	87
FIGURA 99 - TAMPOS PROTÓTIPOS COM DIFERENTES SOLUÇÕES DE GARRAS.....	88
FIGURA 100 - EMBALAGEM COM NOVO REBORDO APÓS ENSAIO DE QUEDA SOBRE O FUNDO	88
FIGURA 101 - RECORTE DO FECHO DEFORMADO PELO ENSAIO DE QUEDA SOBRE O FUNDO (ESQUERDO) EM COMPARAÇÃO COM UM FECHO DE UMA EMBALAGEM NÃO TESTADA (DIREITA)	89
FIGURA 102 - DEFORMAÇÃO NA EMBALAGEM COM NOVO REBORDO APÓS TESTE DE QUEDA	89
FIGURA 103 - EMBALAGEM COM NOVO REBORDO APÓS ENSAIO DE QUEDA SOBRE O TAMPO.....	89
FIGURA 104 - FECHOS DE TAMPOS PROTÓTIPOS COM DIFERENTES SOLUÇÕES DE GEOMETRIA DAS GARRAS A) <i>SOLUÇÃO A-GARRAS</i> , B) <i>SOLUÇÃO B-GARRAS</i> , C) <i>SOLUÇÃO C-GARRAS</i> , D) <i>SOLUÇÃO D- GARRAS</i> , E) <i>SOLUÇÃO E-GARRAS</i>	90
FIGURA 105 - FECHO COM GARRAS COLEP	90
FIGURA 106 - PORMENOR NO PROTÓTIPO COM TAMPO COM SOLUÇÃO <i>D-GARRAS</i>	91
FIGURA 107 - ENSAIO DE QUEDA SOBRE O TAMPO EM EMBALAGEM COM AS SOLUÇÕES COMBINADAS	92
FIGURA 108 - ENSAIO DE QUEDA SOBRE O FUNDO EM EMBALAGEM COM SOLUÇÕES COMBINADAS....	92
FIGURA 109 - INFLUÊNCIA DO TAMPO EM EMBALAGEM COM REBORDO SOLUÇÃO C	93
FIGURA 110 - DIAGRAMA DO DESENVOLVIMENTO REALIZADO PARA IMPLEMENTAR MELHORIAS NA EMBALAGEM.....	94

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - VALORES NORMALIZADOS DE PROPRIEDADES DE FOLHA-DE-FLANDRES E SUA DESIGNAÇÃO (EN 10202, 2001).	15
TABELA 2 - DUREZA ROCKWELL PARA FOLHA-DE-FLANDRES COM UMA REDUÇÃO (EN 10202, 2001)	15
TABELA 3 - ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DAS TÉCNICAS PARA FABRICO DE EMBALAGENS EM FOLHA DE FLANDRES	23
TABELA 4 - POSSÍVEIS CAUSAS PARA A FALHA DAS EMBALAGENS DURANTE O ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE. (HENRY & ANNE, 2012)	25
TABELA 5 - CLASSIFICAÇÃO DO GRUPO DE EMBALAGENS (ADR/RPE, 2019)	28
TABELA 6 - ALTURA PARA ENSAIO DE QUEDA EM EMBALAGENS ENSAIADAS COM SÓLIDOS E LÍQUIDOS A TRANSPORTAR (ADR/RPE, 2019)	29
TABELA 7 - ALTURA PARA ENSAIOS DE QUEDA EM EMBALAGENS COM ÁGUA COM DENSIDADE RELATIVA NÃO SUPERIOR A 1.2 (ADR/RPE, 2019)	29
TABELA 8 - ALTURA PARA ENSAIOS DE QUEDAS EM EMBALAGENS COM ÁGUA COM DENSIDADE RELATIVA SUPERIOR A 1.2 (ADR/RPE, 2019)	29
TABELA 9 - QUADRO RESUMO DOS ENSAIOS DE EMPILHAMENTO POSSÍVEIS DE REALIZAR SEGUNDO O (ADR/RPE, 2019)	31
TABELA 10 - ANÁLISE DOS ESTUDOS REALIZADOS A RECIPIENTES DE PAREDES FINAS COM ELEVADAS DEFORMAÇÕES	37
TABELA 11 - ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO DIAGRAMA DE <i>ISHIKAWA</i>	40
TABELA 12 - ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO <i>BENCHMARKING</i>	42
TABELA 13 - REDUÇÃO DE ESPESSURAS DA EMBALAGEM ALVO DO PROJETO	50
TABELA 14 - RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE TRAÇÃO NO SENTIDO DA LAMINAGEM	ERRO!
MARCADOR NÃO DEFINIDO.	
TABELA 15 - RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE TRAÇÃO NO SENTIDO PERPENDICULAR A LAMINAGEM	53
TABELA 16 - RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE TRAÇÃO A 45 ° DO SENTIDO DA LAMINAGEM	54
TABELA 17 - ANÁLISE DAS DIFERENTES SOLUÇÕES PARA BALDE DE GARRAS UN	62
TABELA 18 - ESPESSURAS DOS DIFERENTES BALDES UN DE 20 L DE GARRAS DO MERCADO	63
TABELA 19 - DIFERENTES CARACTERÍSTICAS DO TAMPO DE GARRAS ENCONTRADAS NO MERCADO	67
TABELA 20 - PROPRIEDADES USADAS PARA A SIMULAÇÃO DE FECHO	71
TABELA 21 - TABELA COM DIFERENTES VANTAGENS DE DESVANTAGENS DAS SOLUÇÕES PARA O NOVO REBORDO	73
TABELA 22 - PROPRIEDADES USADAS NA SIMULAÇÃO DA PRESSÃO HIDRÁULICA NO BALDE COLEP	78
TABELA 23 - RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DE PRESSÃO INTERNA NA EMBALAGEM COLEP	79
TABELA 24 - DIFERENTES SUGESTÕES DE GEOMETRIA PARA PAINEL DO TAMPO	81
TABELA 25 - TABELA RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS POR SIMULAÇÃO DA PRESSÃO HIDRÁULICA	82
TABELA 26 - TEMPO DE ABERTURA DE TAMPOS PROTÓTIPOS COM NOVAS GEOMETRIAS DE GARRAS	91
TABELA 27 - RESULTADO DOS ENSAIOS DE QUEDA SOBRE O FUNDO EM EMBALAGENS COM REBORDO COLEP E COM TAMPOS PROTÓTIPOS COM NOVAS GEOMETRIAS DE GARRAS	91

TABELA 28 - RESULTADO DOS ENSAIOS DE QUEDA SOBRE O TAMPO EM EMBALAGENS COM REBORDO COLEP E COM TAMPOS PROTÓTIPOS COM NOVAS GEOMETRIAS DE GARRAS	92
TABELA 29 - QUADRO RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM AS DIFERENTES SOLUÇÕES	95

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	Contextualização	3
1.2	Objetivos	3
1.3	Metodologia de investigação	4
1.4	Estrutura da dissertação	5
1.5	Empresa de acolhimento	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1	Embalagens	9
2.1.1	Introdução às embalagens	9
2.1.2	Função das embalagens	9
2.1.3	Tipos de embalagens.....	10
2.1.4	Materiais usados em embalagens	11
2.1.4.1	Folha-de-flandres.....	13
2.1.4.1.1	Propriedades da folha-de-flandres	14
2.1.5	Sistemas de fecho.....	17
2.1.6	Processo de cravação	21
2.1.7	Desenvolvimentos no processo de fabrico de embalagens em folha-de-flandres	23
2.2	Transporte.....	25
2.2.1	Transporte de produtos perigosos	25
2.2.1.1	Legislação aplicada	26
2.2.1.2	Produtos Perigosos	27
2.2.1.3	Ensaio e requisitos para homologação.....	28
2.2.1.4	Ensaio de queda	29
2.2.1.5	Ensaio de empilhamento	30
2.2.1.6	Ensaio de pressão hidráulica.....	31
2.2.1.7	Marcação UN	32
2.3	<i>Desenvolvimento e otimização do produto</i>	33
2.4	Conceitos de simulação.....	34
2.4.1	Tipos de análise	34
2.4.1.1	Análise estática ou análise dinâmica	34
2.4.1.2	Análise linear ou não linear	35
2.4.2	Tipo de geometrias.....	35

2.4.3	Definição da malha.....	35
2.4.4	Simulação aplicada a elevadas deformações	36
2.5	Ferramentas da qualidade	38
2.5.1	Ishikawa.....	39
2.5.2	Benchmarking.....	40
3	DESENVOLVIMENTO.....	45
3.1	COLEP	45
3.1.1	Embalagens produzidas.....	46
3.1.2	Embalagem alvo deste trabalho.....	47
3.1.3	Processo de conceção e fabrico (design do produto + fluxograma)	48
3.1.4	Identificação do problema	49
3.2	Metodologia para resolução do problema	50
3.3	Estudo das características do produto.....	51
3.3.1	Estudo das características da folha-de-flandres.....	51
3.3.2	Caracterização do processo de fecho.....	55
3.3.3	Fecho da embalagem	56
3.3.4	Estado atual da embalagem	57
3.3.5	Modos de falha da embalagem	59
3.3.6	Benchmarking.....	61
3.3.6.1	Especificações da embalagem	61
3.3.6.2	Recomendações de fecho.....	63
3.3.6.3	Geometria do rebordo.....	64
3.3.6.4	Geometria das garras.....	66
3.3.6.5	Tempo de abertura do balde	66
3.3.6.6	Geometria do painel do tampo.....	67
3.4	Desenvolvimento do novo produto	68
3.4.1	Estudo do rebordo do balde.....	68
3.4.1.1	Influência da quantidade de vedante nos ensaios UN.....	69
3.4.1.2	Simulação de fecho Colep.....	70
3.4.1.3	Análise de possíveis designs para o rebordo	72
3.4.1.4	Simulação de fecho com solução proposta	73
3.4.2	Estudo da geometria das garras.....	74
3.4.2.1	Requisitos para geometria das garras.....	75
3.4.2.2	Possíveis soluções para a geometria das garras	75
3.4.3	Estudo do painel do tampo	77
3.4.3.1	Simulação do painel atual do tampo	77
3.4.3.2	Sugestões de alterações	81
3.4.3.3	Simulação das diferentes soluções	81

3.5	Implementação do protótipo.....	85
3.5.1	Produção de um novo rebordo	85
3.5.2	Produção de novas geometrias para as garras.....	87
3.6	Testes e resultados.....	88
3.6.1	Novo rebordo	88
3.6.1.1	Ensaio de queda sobre o fundo	88
3.6.1.2	Ensaio de queda sobre o tampo	89
3.6.2	Nova geometria de garras	90
3.6.2.1	Avaliação do fecho e da sua abertura nas diferentes soluções	90
3.6.2.2	Ensaio de queda sobre o fundo	91
3.6.2.3	Ensaio de queda sobre o tampo	92
3.6.3	Avaliação de soluções combinadas	92
3.7	Análise crítica	93
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS.....	99
4.1	CONCLUSÕES.....	99
4.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	99
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	103

INTRODUÇÃO

1.1 - Contextualização

1.2 - Objetivos

1.3 - Metodologia de investigação

1.4 - Estrutura da dissertação

1.5 - Empresa de acolhimento

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A redução do consumo de matéria-prima no fabrico de embalagens, tem associado um leque de vantagens indiscutíveis. Em primeiro lugar, as embalagens tornam-se mais competitivas, tornando possível a redução dos preços de venda. O transporte torna-se mais fácil devido à redução de pesos e, por último, consegue-se uma redução no impacto ambiental. Em Portugal, a Sociedade Ponto Verde tem como objetivo reduzir o impacto das embalagens no seu final de vida (Sociedade Ponto Verde, n.d.). Embalagens com menos matéria-prima e menor volume, levam a uma menor geração de resíduos, pelo que é uma boa solução ambiental e económica.

Desta forma, a redução de espessuras de embalagens em folha-de-flandres torna-se um projeto apelativo para as empresas de embalagens, neste material. É necessário levar em consideração que a redução de espessuras não pode afetar a função das embalagens, nem as características definidas pelo cliente.

Uma das áreas mais exigentes das embalagens em folha-de-flandres são as embalagens certificadas pelas Nações Unidas, para transporte de produtos perigosos. Estas embalagens, para obter a certificação, têm de passar testes de homologação exigentes, em que a embalagem tem que se manter íntegra em condições adversas.

Assim, as embalagens UN necessitam de um cuidado adicional no que toca a projetos de redução de espessuras. Geralmente, para este tipo de projetos é necessário que a embalagem seja sujeita a uma otimização da geometria.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como principal objetivo a otimização de uma embalagem concebida para o transporte de produtos perigosos, nomeadamente tintas, segundo o ADR 2019, que impõe condições bem determinadas com vista a evitar o derrame dos produtos perigosos em caso de acidente. Para otimizar este produto, será necessário estudar e melhorar o seu sistema de fecho.

Para o cumprimento do objetivo final, é necessário fazer uma avaliação à embalagem no seu estado inicial, determinando quais os componentes/zonas que terão impacto no desempenho da embalagem. É nessas zonas que serão depois estudadas as possíveis ações a implementar, para conseguir uma melhoria da embalagem. Numa fase final, foram fabricados protótipos para validar o estudo realizado através desta dissertação.

1.3 Metodologia de investigação

Este trabalho seguiu a ferramenta de gestão de projetos da Colep, a *One Colep*. Esta ferramenta faz o acompanhamento dos projetos da empresa. Segundo o *One Colep*, o projeto divide-se em três fases: planeamento, desenvolvimento e implementação. Cada fase tem um conjunto de ações que deveram ser realizadas. Este modelo de gestão de projetos está focado em projetos empresariais, pelo que, foi ajustado as necessidades do estágio curricular (Figura 1).

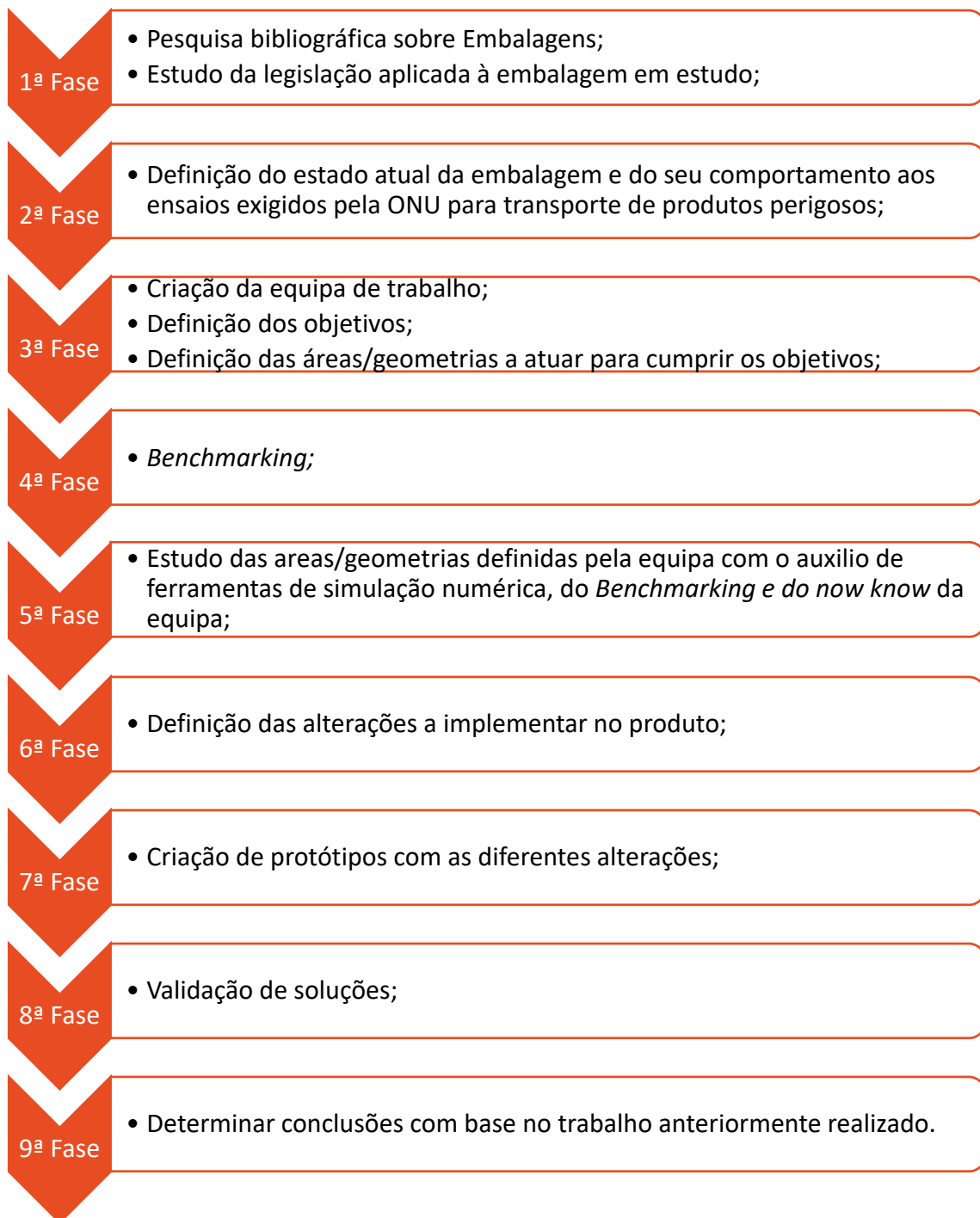


Figura 1 - Diferentes etapas do projeto

1.4 Estrutura da dissertação

A estrutura desta dissertação assenta em quatro partes, as quais se encontram organizadas da seguinte forma:

Capítulo 1 – Introdução: inicialmente é introduzido ao leitor o tema, com uma descrição e enquadramento onde são definidos os objetivos e a metodologia usada.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica: neste capítulo, o leitor encontra uma revisão bibliográfica que passa em revista os temas desenvolvidos nesta dissertação, através da consulta e resumo de desenvolvimentos técnicos e científicos já publicados.

Capítulo 3 – Desenvolvimento: neste capítulo está presente todo o desenvolvimento do produto realizado.

Capítulo 4 – Conclusões: por fim existe uma conclusão, onde são apresentadas as melhorias necessárias para a obtenção de uma embalagem otimizada.

1.5 Empresa de acolhimento

Este trabalho foi realizado numa parceria entre o Instituto Superior de Engenharia do Porto e a empresa Colep, através de um estágio curricular realizado na empresa, a tempo completo, o qual teve uma duração de nove meses na área técnica. Foi Orientador na empresa o Eng.º Mário Vaz.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Embalagens

2.2 - Transporte

2.3 - *Desenvolvimento e otimização do produto*

2.4 - Conceitos de simulação

2.5 - Ferramentas da qualidade

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Embalagens

2.1.1 *Introdução às embalagens*

Atualmente, é difícil imaginar uma vida sem embalagens, pois elas estão presentes no nosso dia-a-dia. O consumidor final quase não repara na embalagem que contém o seu produto e quais as suas funções. A entrega de produtos básicos do produtor para o consumidor depende do uso eficiente da embalagem. Sem estas, muitos dos produtos que estão facilmente acessíveis não estariam assim prontamente disponíveis. Por outro lado, as embalagens desempenham um papel fundamental na prevenção de deterioração, aumentando assim a vida útil dos produtos e evitando desperdícios (Henry & Anne, 2012).

Uma definição mais técnica de embalagem está descrita na norma portuguesa EN ISO 16104:2003, onde consta que uma embalagem é constituída por um recipiente e todos os restantes elementos ou materiais necessários, os quais permitem que o recipiente preencha a sua função de retenção (NP EN ISO 16104, 2008).

A nível de mercado, as embalagens alimentares e de bebidas são as que têm um maior volume de negócios. O segmento das embalagens industriais posiciona-se em segundo lugar. Estas embalagens são especiais, apresentando diferentes espessuras, maior resistência e proteção do produto, conseguindo assim armazenar os produtos com menor possibilidade de derrame de material perigoso, evitando contaminações exteriores. O mercado global das embalagens industriais foi avaliado em 2016 com um volume de negócios de 53 843 milhões de dólares. É um mercado que continua em crescimento, devido ao aumento das atividades de construção civil e do aumento populacional em países emergentes, como a China e a Índia. Em terceiro lugar, encontra-se o mercado das embalagens para indústria farmacêutica, que obteve o maior crescimento, 4%, devido ao aumento da população idosa e de doenças crónicas (Roy, 2017).

2.1.2 *Função das embalagens*

O embalamento é um sistema coordenado para a preparação de produtos para transporte, proteção, armazenamento, retalho e uso final. Tem como objetivo minimizar os custos de envio de produtos, assim como maximizar as vendas (Hanlon, 1984).

Numa definição mais técnica, presente no decreto-lei nº 366-A/97, a embalagem é definida como todo e qualquer produto realizado com materiais de qualquer natureza, com as seguintes funções: conter, proteger, movimentar, manusear, entregar e apresentar mercadorias, tanto matérias-primas como produtos transformados, desde o

produtor até ao consumidor final, incluindo todos os artigos descartáveis (Decreto-lei nº 366-A/97 20 de dezembro, 1977).

Para além do referido anteriormente, a embalagem tem um elevado poder de comunicação, sendo uma poderosa ferramenta de *Marketing*. A primeira impressão de um produto é passada ao cliente pela embalagem, através da forma, das cores e da qualidade, entre outros. Muitas vezes, a decisão de compra de um determinado produto face a outro é determinada pela embalagem (Farmer, 2012).

A embalagem tem uma importância elevada na altura de captar o cliente, e vai implicar a experiência multissensorial deste na hora da decisão. A capacidade da embalagem também vai afetar a quantidade de produto consumido: quanto maiores as embalagens, maior será o consumo do produto por parte do consumidor (Krishna, Cian, & Aydınoğlu, 2017).

2.1.3 Tipos de embalagens

As nações unidas (ADR/RPE, 2019) subdividem na sua marcação as embalagens para transporte de produtos perigosos. Segundo esta entidade, existem seis diferentes tipos de embalagens para este tipo de transporte:

- Caixas – embalagem de faces completas, retangulares ou poligonais, de metal, madeira, contraplacado aglomerado de madeira, cartão, matéria plástica, ou outro material apropriado. Podem conter pequenas aberturas, para facilitar o manuseamento ou abertura, na condição que não comprometa a integridade da embalagem durante o transporte.
- *Jerricanes* – embalagem de metal ou de matéria plástica, de secção retangular ou poligonal, munida de um ou mais orifícios.
- Barricas – embalagem de madeira natural de secção circular, com paredes adequadas, provida de aduelas, fundos e aros.
- Tambores – embalagem cilíndrica de fundo plano ou convexo, de metal, cartão, matéria plástica, contraplacado ou outro material apropriado. Esta definição também engloba embalagens com outras formas, como por exemplo embalagens redondas com parte superior cónica.
- Sacos – embalagem flexível de papel, filme de matéria plástica, têxtil, tecido ou outro material apropriado.
- Embalagens compósitas – embalagem constituída por dois recipientes (exterior e interior) de diferentes materiais. Uma vez montada, esta embalagem mantém-se como um conjunto indissociável.



Figura 2 - Classificação de embalagens segundo o ADR/RPE 2019 (Neto, 2017)

Para além da distinção das embalagens pelo seu formato e especificações, as embalagens também podem ser divididas pela sua função. No decreto-lei nº 366-A/97 de 20/12/1977 encontra-se a seguinte distinção de embalagens segundo a sua função:

- Embalagem de venda ou embalagem primária – embalagem concebida para venda ao consumidor final.
- Embalagem grupada ou embalagem secundária – embalagens geralmente usadas para aprovisionamento de embalagens primárias no ponto de venda, ou para agrupar embalagens primárias, para o consumidor final comprar um determinado número de produtos.
- Embalagem de transporte ou embalagem terciária – concebida para conter um grupo de embalagens agrupadas. É importante que a embalagem terciária não danifique as restantes embalagens.

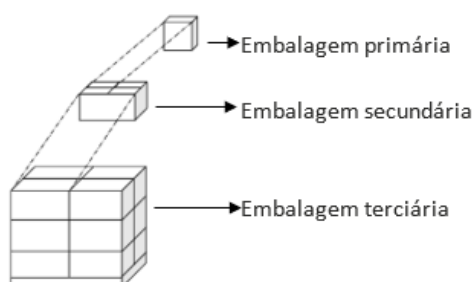


Figura 3 - Classificação de embalagens segundo a sua função, adaptada de (Henry & Anne, 2012)

2.1.4 Materiais usados em embalagens

O sucesso de uma embalagem está diretamente ligado à experiência que é proporcionada ao consumidor final durante o seu uso. O material escolhido para a conceção dessa embalagem e o seu sistema de fecho, são dos fatores mais importante para proporcionar uma boa experiência ao utilizador (Theobald & Winder, 2009). Os

materiais mais usados para o fabrico de embalagens são: o vidro, o papel, o plástico, o metal.

O vidro é um dos mais antigos materiais usados em embalagens. Este material é impermeável à água e aos gases, o que o torna muito atrativo para embalar, por exemplo, alimentos de fácil deterioração. Para além disso, o vidro, a curto prazo, é um material inerte, não reagindo com outras soluções. A longo prazo, determinados componentes do vidro podem desintegrar-se, pelo que é necessário ter um especial cuidado no uso deste material para armazenamento de produtos farmacêuticos.

O papel é um material realizado a partir de fibras vegetais, e é muito usado em diversas formas. Para simplificar, a *International Organization for Standardisation* (ISO) separou este material em duas classes: o papel com uma gramagem inferior a 250 gramas por metro quadrado, e o cartão com uma gramagem superior a 250 gramas por metro quadrado. Este material, dependendo da sua composição, pode adquirir boa resistência à compressão e à tração.

Os plásticos são amplamente usados no fabrico de embalagens, devido à sua baixa densidade, à facilidade de processamento em diferentes geometrias e à elevada cadência de produção que se pode atingir. Ao longo do tempo, tem-se vindo a adaptar as embalagens plásticas a quase todas as áreas, ultrapassando todos os obstáculos que este material proporciona. É fiável dizer que, na atualidade, há uma solução plástica para quase todos os problemas das embalagens (Henry & Anne, 2012).

Por último, o metal. O fabrico das embalagens metálicas concentra-se essencialmente em dois metais diferentes: o alumínio e a folha-de-flandres. As embalagens metálicas oferecem uma elevada robustez e resistência à corrosão, entre outras. Uma característica importante destes materiais é serem uma opção sustentável, visto que são recicláveis.

No ramo das embalagens metálicas, existem três grupos de embalagens que têm especificações distintas: as embalagens alimentares, os aerossóis e as embalagens de *general line*. Este último grupo, o *General Line* (GL), inclui diferentes formas e tamanhos para tintas, revestimentos, lubrificantes ou outros produtos industriais, produtos de cuidado pessoal e produtos para cuidado automóvel. Para além destas aplicações, estas embalagens são usadas também como decoração e promoção de produtos (Theobald & Winder, 2009).

Outra forma de dividir as embalagens metálicas é usando a sua composição e, consequentemente, pelo seu processo de fabrico. Estas podem ser divididas em dois grandes grupos (ISO 90-2, 1997):

- *Three pieces can* – embalagens muito utilizadas no mercado, independentemente das suas dimensões. Os três constituintes da embalagem são o corpo, o tampo e o fundo. Apresentam no corpo um cordão de soldadura ou uma agrafagem, que resulta na junção das extremidades da folha que dá origem à embalagem. A junção do fundo e do tampo ao corpo dá-se pelo processo de cravação. Para este tipo de embalagem, o material mais usado é a folha-de-flandres.
- *Two pieces can* – Estas embalagens têm geralmente menores dimensões e são fabricadas normalmente em alumínio. Nestas embalagens, o corpo e o fundo

encontram-se juntos, adicionando depois o topo da embalagem. A embalagem resulta de um processo de embutidura, e não apresenta qualquer costura no corpo.

A embalagem alvo deste estudo é fabricada em folha-de-flandres, *three pieces can*, pertencendo ao segmento *General Line*.

2.1.4.1 Folha-de-flandres

A folha-de-flandres é um dos primeiros materiais a ser utilizado no fabrico de embalagens, sendo 100% reciclável. É um material com boa soldabilidade e com uma elevada resistência à corrosão, possuindo ainda propriedades que ajudam na estampagem. Estes fatores tornam-no num material muito atrativo. É de salientar que, em relação ao alumínio, é um material mais económico (Barisic, Pepelnjak, & Kuzman, 2005).

Ao longo dos últimos anos, o segmento das embalagens em folha-de-flandres registou um crescimento, o qual se ficou a dever ao aumento do consumo de alimentos embalados nos países em desenvolvimento, juntamente com o aumento de rendimentos disponíveis. Em 2017, a Europa era a região como o maior volume de negócios em folha-de-flandres, mas há previsão de um crescimento da região da Ásia-Pacífico entre 2018 e 2023 (Analytics, 2018).

A folha-de-flandres é obtida em siderurgias pelo processo de laminagem, e é posteriormente revestida, adquirindo assim as suas propriedades. O seu processo de fabrico faz com que este material apresente uma estrutura estratificada. Na Figura 4 poderá observar-se uma estrutura típica deste material, o qual é constituído por diversas camadas, cada uma com a sua função e características próprias (CSN, 2019). A folha-de-flandres pode ser estratificada em cinco camadas, sendo elas:

- Aço Base;
- Camada de liga de ferro com estanho;
- Estanho livre, que tanto pode estar presente numa ou nas duas faces;
- Filme de passivação;
- Filme de óleo.

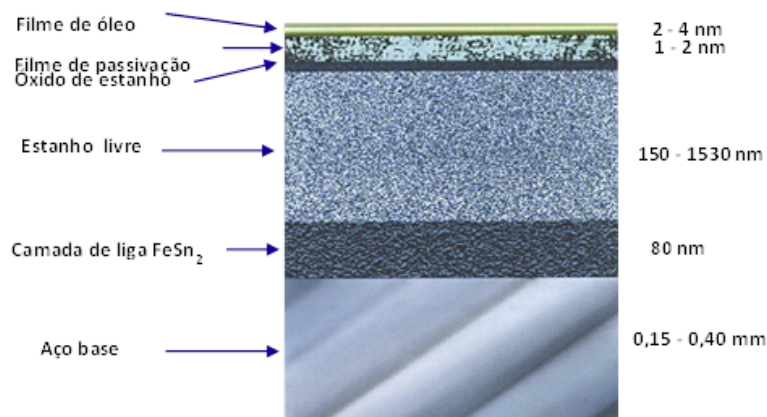


Figura 4 - Diferentes camadas que constituem a folha-de-flandres (CSN, 2019)

Cada uma das camadas contribui para o bom funcionamento desta estrutura. O aço confere resistência mecânica, a liga ferro-estanho permite assegurar a aderência do estanho ao aço base, o estanho livre e a passivação conferem a resistência à corrosão e, por fim, o filme de óleo impede o contacto com a atmosfera por parte de toda a estrutura, impedindo a adesão de material durante o transporte e armazenamento, assim como impede que se formem riscos quando a bobina da chapa é desenrolada (CSN, 2019). A Figura 5 mostra os formatos em que a folha-de-flandres é normalmente rececionada.

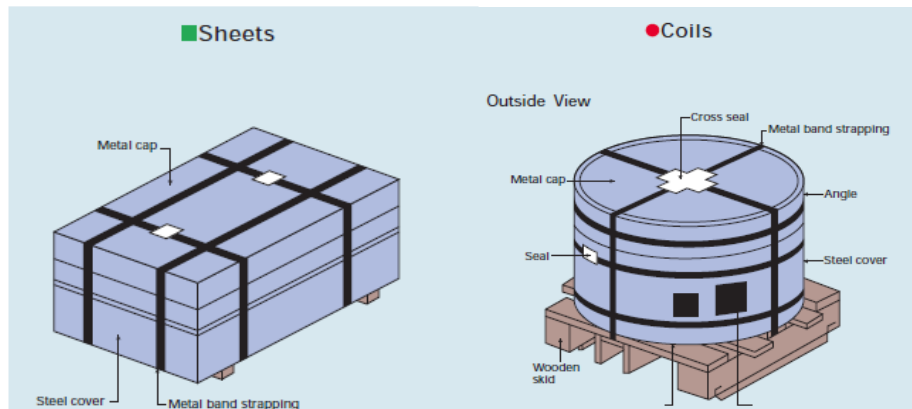


Figura 5 - Folha-de-flandres com diferentes formatos (JFE, n.d.)

2.1.4.1.1 Propriedades da folha-de-flandres

A produção de folha-de-flandres está regulada pelo Comité Europeu de Normalização (EN 10202, 2001), onde se encontram especificadas as espessuras, com as suas devidas tolerâncias, assim como as durezas e propriedades à tração admitidas nas diferentes folhas. Os métodos de ensaio para controlo do material também se encontram especificados.

A folha-de-flandres é constituída por aço com baixo teor em carbono laminado, com espessuras entre os 0.13 mm e os 0.49 mm. Para folha-de-flandres que apenas contém no seu processo de fabrico uma operação de laminagem, uma redução, existe uma gama de espessuras de 0.17 mm a 0.49 mm, com incrementos de 0.005 mm. Para espessuras mais baixas, é necessário que o material seja duplamente reduzido, isto é, a matéria prima é sujeita a duas operações de laminagem, para que seja possível a existência de espessuras menores. Com esta dupla redução, a folha-de-flandres consegue atingir espessuras de 0.13 mm a 0.29 mm, inclusive também com incrementos de 0.005 mm (EN 10202, 2001).

Para além da espessura, a dureza, assim como as tensões de cedência e de rotura, são propriedades que influenciam o seu posterior processo de transformação. Assim sendo, são especificações importantes do material. A referência do material é representada por uma letra inicial "T", que representa *Tinplate*, seguida de um "S" de *soft* ou de um "H" de *hard*, e no final um valor entre 230 a 262, que representa a tensão de cedência, expressa em MPa (EN 10202, 2001).

A norma europeia da folha-de-flandres determina as designações de cada material, assim como os valores das propriedades a que a designação se refere (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores normalizados de propriedades de folha-de-flandres e sua designação (EN 10202, 2001)

Designação	Número do aço	Tensão de cedência (R_p) MPa		Tensão de rotura (R_m) MPa	
		Valor nominal	Tolerância	Valor nominal	Tolerância
TS 230	1.0371	230	±50	325	±50
TS 245	1.0372	245	±50	340	±50
TS 260	1.0379	260	±50	360	±50
TS 275	1.0375	275	±50	375	±50
TS 290	1.0381	290	±50	390	±50
TS 550	1.0385	550	±50	575	±50
TH 415	1.0377	415	±50	435	±50
TH 435	1.0378	435	±50	460	±50
TH 520	1.0384	520	±50	540	±50
TH 550	1.0373	550	±50	570	±50
TH 580	1.0382	580	±50	590	±50
TH620	1.0374	620	±50	625	±50

Como o ensaio de tração é um ensaio de laboratório difícil de implementar na área de produção, para controlo da folha a norma sugere que seja usado um ensaio de dureza. Os valores de dureza correspondentes a cada designação do material também estão definidos pela norma (Tabela 2).

Tabela 2 - Dureza Rockwell HR 30 Tm para folha-de-flandres com uma redução (EN 10202, 2001)

Espessura [mm]	$t \leq 0.21$	$0.21 < t \leq 0.28$	$t > 0.28$
Designação	Valor nominal	Valor nominal	Valor nominal
TS 230	Max. 53	Max. 52	Max. 51
TS 245	53 ±4	52 ±4	51 ±4
TS 260	56 ±4	55 ±4	54 ±4
TS 275	58 ±4	57 ±4	56 ±4
TS 290	60 ±4	59 ±4	58 ±4
TS 550			
TH 415	62 ±4	61 ±4	60 ±4
TH 435	65 ±4	65 ±4	64 ±4
TH 520			
TH 550			
TH 580			
TH 620			

A medição das características da folha-de-flandres, nomeadamente a dureza e as tensões de cedência e de rotura, encontram-se normalizadas pela EN 10202:2001 (EN 10202, 2001). O local da folha de onde devem ser retirados os provetes para avaliação das características, estão definidos na Figura 6.

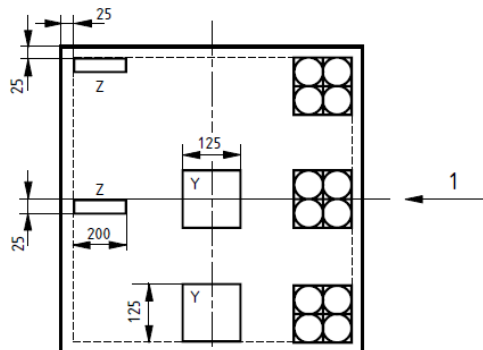


Figura 6 - Esquema para corte de provetes para ensaios de tração (EN 10202:2001)

Em que:

- 1 – Direção da laminagem;
- Z – Provetes para ensaio de tração;
- Y – Provetes para ensaio de medição de dureza.

O uso deste material para embalagens já se encontra referenciado para diferentes aplicações dentro das embalagens, dependendo da espessura da folha, da sua tensão de cedência e da sua dureza, conseqüentemente. Um dos fabricantes de folha sugere as aplicações mostradas na Figura 7 para as diferentes folhas-de-flandres (TATA, 2016).

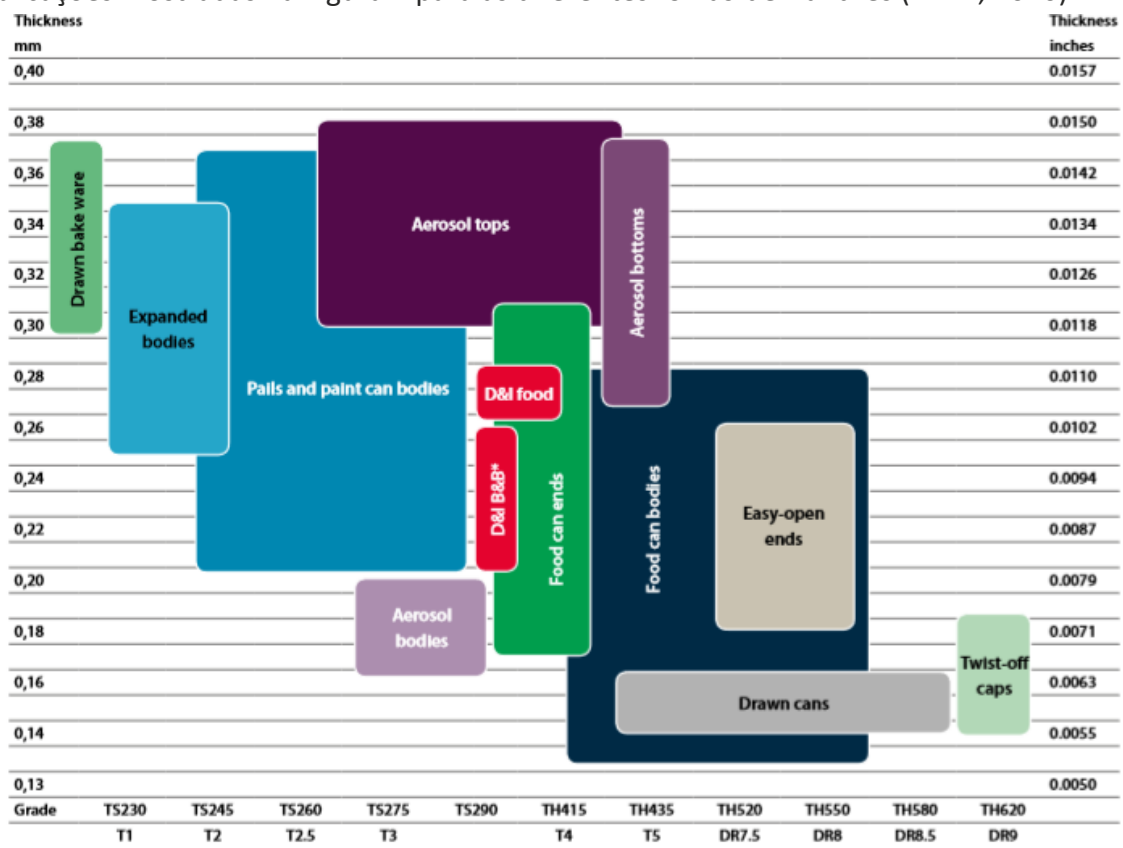


Figura 7 - Diferentes aplicações da folha-de-flandres (TATA, 2016)

2.1.5 Sistemas de fecho

Um fecho pode ser definido como um método para fechar uma embalagem, de modo ao produto ficar devidamente armazenado e protegido. Mas, de uma forma mais técnica, um fecho é definido como um dispositivo que fecha um produto dentro de uma embalagem, mas que quando é removido, permite o fácil acesso ao produto (Henry & Anne, 2012). Dentro das embalagens metálicas do *general line*, existem diferentes tipos de fechos, segundo a norma das embalagens GL (ISO 90-2, 1997):

- Fecho por atrito (*full friction*):

Trata-se de um fecho que permite a remoção do tampo, que encaixa na parte superior do corpo da embalagem (Figura 8). O fecho dá-se pela fricção que ocorre entre a parte interior do corpo da embalagem e a parte exterior do tampo. O toleranciamento dos diâmetros é definido com aperto, sendo necessário o auxílio de uma ferramenta para abrir este tipo de embalagens.

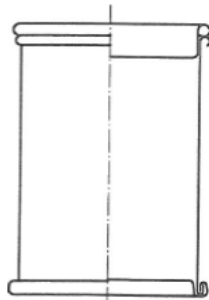


Figura 8 - Esquema de fecho por atrito (ISO 90-2, 1997)

- Fecho por pressão com argola (*lever-lid can*):

Esta solução de fecho requer que a embalagem, para além dos três componentes já citados, tenha um acréscimo de uma argola metálica (Figura 9). Esta argola faz interface entre o corpo da embalagem e o tampo. O componente extra encontra-se cravado ao corpo da embalagem e o tampo entra com pressão na argola (Theobald & Winder, 2009).

Neste tipo de fecho existem três opções diferentes, dependendo do número de contactos entre a argola e o tampo. Quando apenas existe um contacto radial de aperto, o fecho designa-se por 1T ou *tight*. Quando o número de contactos sobe para dois, designa-se de 2T ou *double tight*. O número máximo de contactos é conseguido com três contactos radiais, 3T ou TT (*triple tight*) (ISO 90-2, 1997).

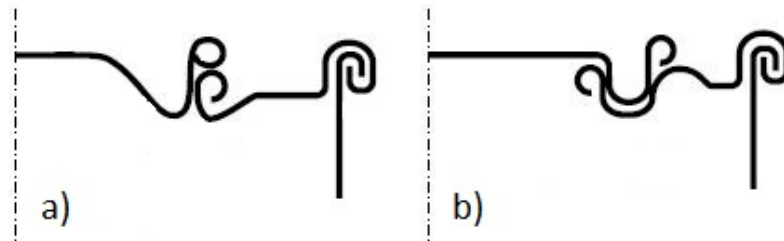


Figura 9 - Diferentes fechos de pressão com argola a) fecho 1T, b) fecho 3T (Theobald & Winder, 2009)

- Fecho por garras (*Lug lid /crimp*):

Este tipo de fecho é constituído por um tampo que, nas suas extremidades, tem umas orelhas (Figuras 10 e 11). Por sua vez, o corpo da embalagem termina num enrolado, denominado de rebordo. O fecho dá-se quando as orelhas do tampo envolvem o rebordo do balde. Para que as orelhas envolvam o rebordo, é necessário que estas se deformem, para isso, existe uma ferramenta de fecho que contém umas garras, que vão incidir no tampo e deformá-lo plasticamente.

Este fecho requer um vedante na zona de fecho, para garantir a estanquidade. Esse vedante é aplicado no tampo e, geralmente, é constituído por uma borracha. A abertura da embalagem pode ser realizada com uma ferramenta própria, ou com a deformação excessiva das garras por um método manual.



Figura 10 - Exemplo de embalagem com fecho de garras (Colep, 2018)

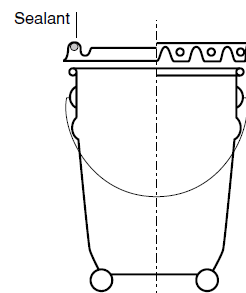


Figura 11 - Esquema de fecho por garras (Theobald & Winder, 2009)

Os baldes com fecho de garras certificados para transporte de material perigoso, têm que garantir a segurança do seu conteúdo. Desta forma, o seu fecho requer uma maior atenção.

Para obter um fecho perfeito, é necessário que após fechado, o ângulo α seja inferior a 90° . O valor máximo aceitável é de 90° . Acima desse valor, estamos perante um fecho inaceitável para o transporte de produtos perigosos (Figura 12) (Emballator, n.d.).

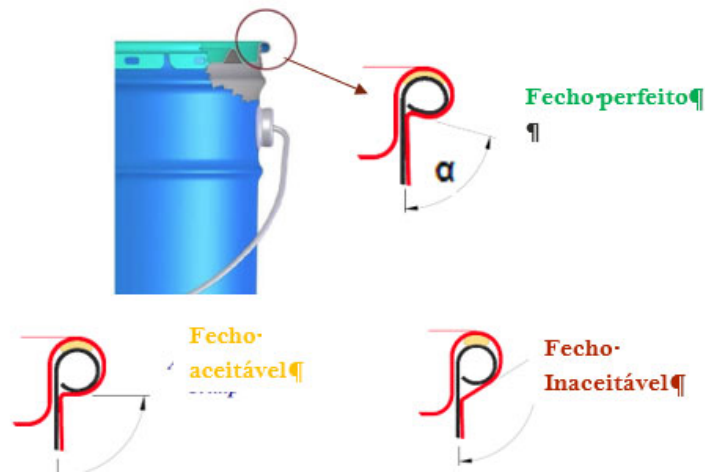


Figura 12 - Instruções de fecho de balde UN para tampo de garras, adaptado de (Emballator, n.d.) e de (Dulin, 2006)

- Fecho por aro amovível:

O fecho por aro amovível tem a mesma base que o fecho *full-friction*. O tampo entra na embalagem por esse sistema, mas posteriormente é fixado um elemento extra para dar robustez à embalagem. Trata-se de um aro metálico, aro *ballesta* (Figuras 13 e 14), geralmente apertado manualmente. Este aro confere uma fácil abertura e fecho da embalagem, sem danificar o tampo, mantendo sempre o tampo fixo e imóvel (Hildering, n.d.).

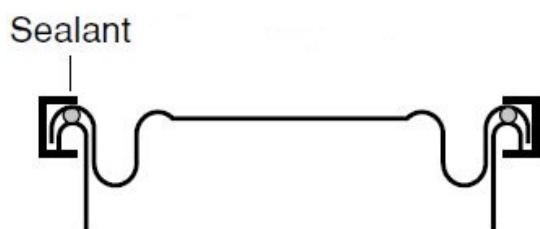


Figura 13 - Esquema de fecho de embalagem com aro balestra (Theobald & Winder, 2009)



Figura 14 - Imagem de balde com fecho de aro metálico (Hildering, n.d.)

O sistema de fecho com aro plástico (Figuras 15 e 16), denominado por sistema tulipa, necessita que a embalagem contenha uma argola, um tampo e um aro plástico, para que o fecho seja possível. O aro plástico proporciona uma elevada área de contacto, protegendo assim a embalagem de uma abertura indesejada (Theobald & Winder, 2009).

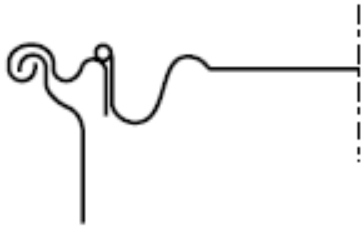


Figura 15 - Esquema de fecho de embalagem tulipa (sem o aro) [Theobald & Winder, 2009]



Figura 16 - Embalagem com fecho Tulipa (Colep, 2018)

- Fecho por cravação

Os fechos por cravação, como o nome indica, têm uma cravação a unir o corpo ao tampo da embalagem (Figura 17). Estes fechos podem ser usados em todos os formatos de embalagens. Esta solução pode estar acoplada com aberturas *easy-open* ou com bocais, o que permite ao utilizador final da embalagem ter acesso ao produto embalado.

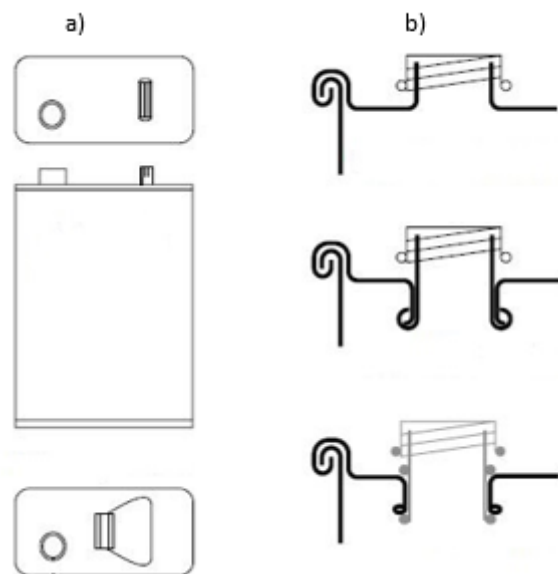


Figura 17 - a) Embalagem retangular cravada, que contém tampo com bocal b) Diferentes bocais usados para fechos por cravação (Theobald & Winder, 2009)

- Fecho por deslizamento:

Este fecho é geralmente usado para embalagens alimentares, onde os tampos deslizam sobre o topo do corpo da embalagem (Figura 18). Trata-se de um contacto justo, mas não apertado, o suficiente para a tampa não cair, sendo de abertura manual fácil.

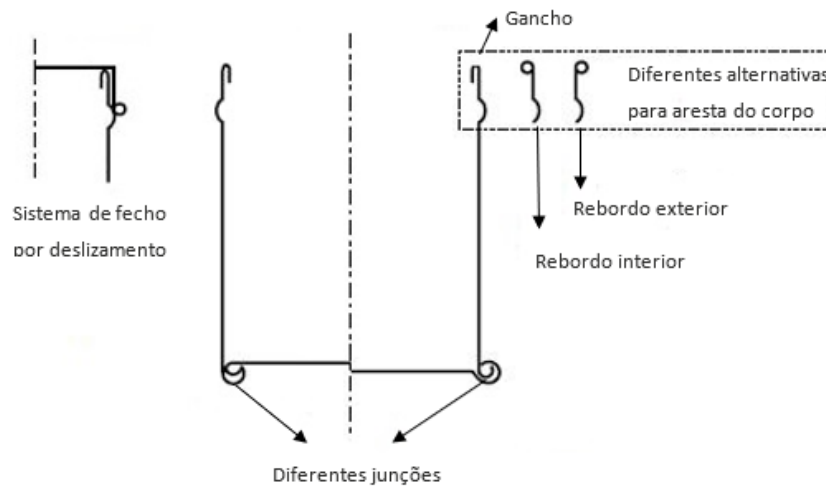


Figura 18 - Sistema de fecho por deslizamento, adaptado de (Theobald & Winder, 2009)

2.1.6 Processo de cravação

O processo de cravação mantém-se semelhante ao longo dos anos, não havendo uma evolução tecnológica significativa nesta área. Apesar de ser uma técnica antiga, é amplamente usada em linhas de montagem de embalagens metálicas. A cada dia que passa, as indústrias necessitam de cravações mais resistentes para garantir um bom desempenho das embalagens. O processo mais utilizado é a cravação dupla para junção de componentes de recipientes de três peças (Theobald & Winder, 2009).

Para realizar uma cravação são necessárias duas operações. Na primeira operação os rolos de cravação formam um enrolado entre as duas folhas com o auxílio da placa de cravação, conforme mostrado na Figura 19. Geralmente, um dos componentes contém um polímero vedante que vai garantir a estanquicidade da cravação (Bruton, 2005).

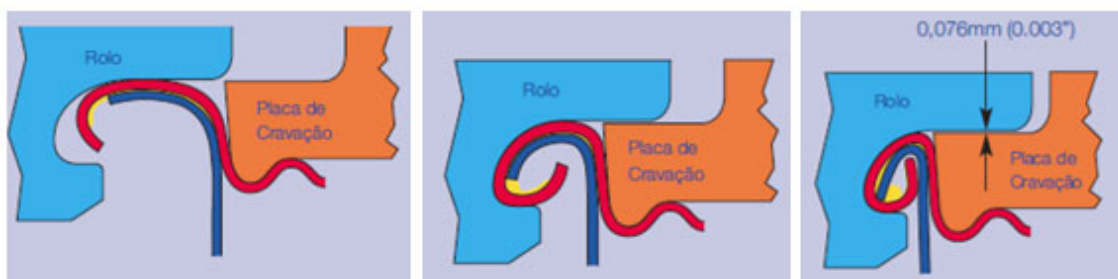


Figura 19 - Suboperações da primeira operação de cravação (Bruton, 2005)

Na segunda operação, um segundo rolo de cravação vai compactar as cinco espessuras de folha e o vedante (Figura 20), até que a cravação fique hermética.

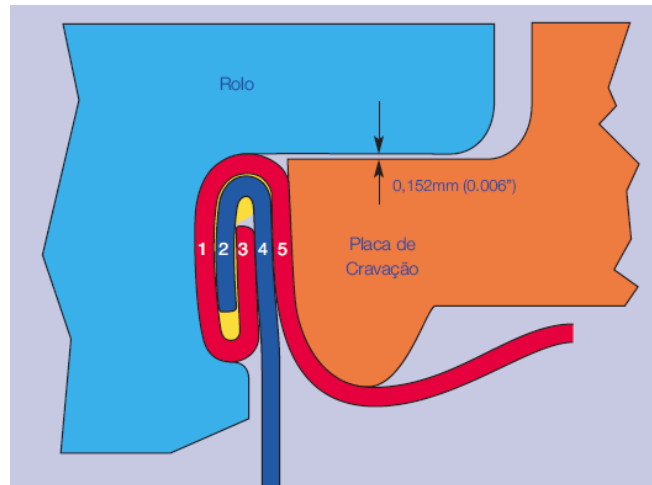


Figura 20 - Segunda operação da de cravação onde se realiza toda a compactação da folha (Bruton, 2005)

Para uma cravação ser considerada aceitável, é necessário garantir que o gancho do corpo e a sobreposição tenham os valores estipulados e a ondulação não seja significativa (Figura 21). Estes três parâmetros são os mais importantes.

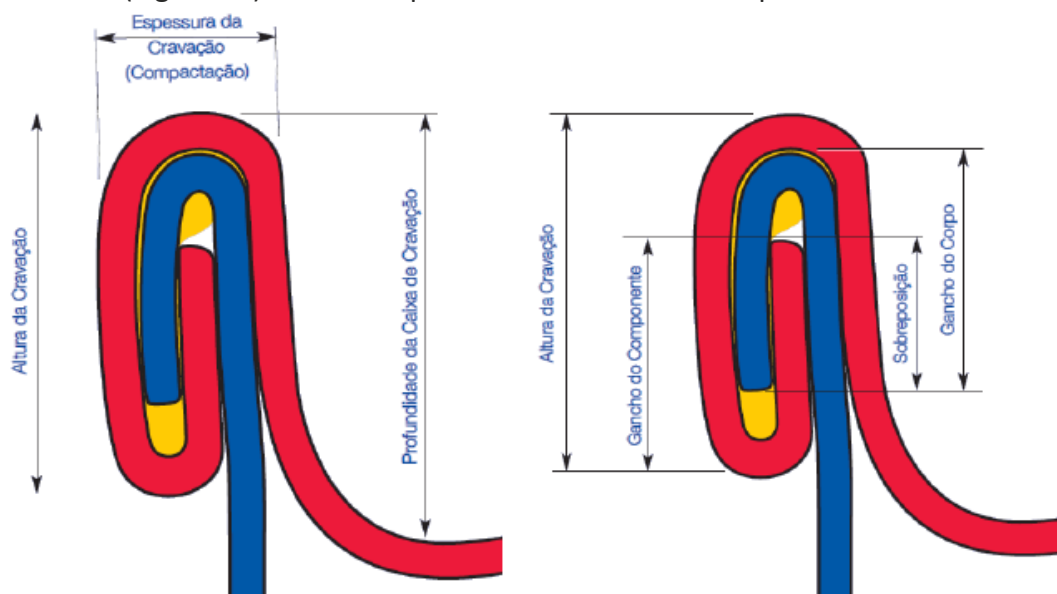


Figura 21 - Terminologia usada para as dimensões de uma cravação (Bruton, 2005)

Bruton refere que, para avaliar a cravação, podem ser usadas as seguintes técnicas de avaliação: método da descorticação da lata, método de corte de cravações e avaliação através de Raios-X (Figura 22). A ondulação de uma cravação apenas é visível no método da descorticação. A descorticação consiste em separar os dois componentes após a cravação para avaliação da zona interna da cravação (Figura 23) (Bruton, 2005).

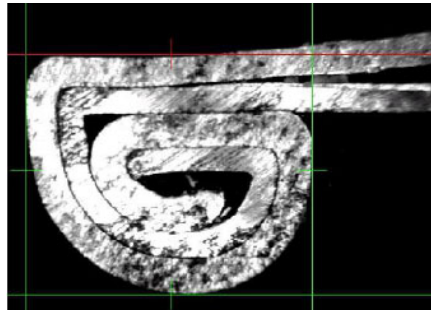


Figura 23 - Imagem de Cravação tripla observada a partir de um raio x



Figura 22 - Avaliação da ondulação de uma cravação dupla pelo método da descorticação da lata

2.1.7 Desenvolvimentos no processo de fabrico de embalagens em folha-de-flandres

O processo de fabrico de embalagens em folha-de-flandres mantém-se semelhante ao longo dos anos. Nos últimos anos, têm-se desenvolvido alguns estudos sobre o fabrico das embalagens em folha de flandres, e resistência das embalagens, encontrando-se alguns deles na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise do desenvolvimento das técnicas para fabrico de embalagens em folha de flandres

Referência bibliográfica	Descrição
(L. Fernandes <i>et al.</i> , 2017)	Neste estudo, foram testados novos revestimentos para a ferramenta de estampagem, de uma embalagem alimentar, produzida em folha-de-flandres. A ferramenta é frágil, o que requer uma elevada manutenção ou uso de lubrificante. Para contornar esta situação, os autores testaram dois novos revestimentos - PVD (B_4C e Mo). Com os revestimentos desenvolvidos é possível aumentar a vida útil da ferramenta de estampagem, assim como diminuir as intervenções de manutenção.

-
- (L. Fernandes *et al.*, 2018) Neste artigo, foi estudada a possibilidade de retirar a lubrificação da estampagem de embalagens alimentares em folha-de-flandres. Para atingir esse objetivo, foram estudados dois possíveis revestimentos para a ferramenta de estampagem, o CrCN e WC. Ambos os revestimentos apresentaram um bom comportamento tribológico, tendo o CrCN um menor coeficiente de atrito, sendo assim o mais indicado.
-
- (L. Fernandes *et al.*, 2019) Foi estudada a transferência de estanho da folha de flandres para a ferramenta, durante a estampagem de embalagens alimentares em folha-de-flandres. Essa transferência vai dificultar o processo de fabrico das embalagens. Como solução, foi proposto um novo revestimento para a ferramenta, TiAlN depositado por um processo de (PVD). Este revestimento apresentou melhor resistência ao desgaste do que outros previamente testados nas mesmas condições de trabalho.
-
- (Pepelnjak & Barisic, 2007) Foi estudada a estampagem de argolas para embalagens em folha de flandres. Durante a estampagem, a folha TS415 sofre elevadas deformações plásticas que levam um elevado número de peças não conformes. O processo de fabrico foi estudado através de uma ferramenta de elementos finitos, ABAQUS CAE®, onde foi possível definir uma otimização geométrica de argolas.
-
- (Wang *et al.*, 2019) Neste artigo foi desenvolvido um sensor eletroquímico que avalia a vida útil de embalagens metálicas. Experiências relevam que os seus resultados têm uma boa aproximação da realidade, comparando com ensaios de envelhecimento rápido.
-

2.2 Transporte

2.2.1 Transporte de produtos perigosos

Uma das principais funções das embalagens é a proteção do produto e a sua conservação. A falha de uma embalagem pode tornar o produto inutilizável. Por exemplo, um vazamento durante o transporte de um produto líquido, gera a perda total desse produto, pois nenhum consumidor irá comprar a embalagem vazia. Se a embalagem não se encontrar conforme, pode gerar perdas monetárias devido a falhas de proteção do produto. A maioria das falhas ocorrem durante o armazenamento e transporte. Segundo Henry & Anne (2012), existem causas e efeitos já conhecidos de falhas com as embalagens, Tabela 4.

Tabela 4 - Possíveis causas para a falha das embalagens durante o armazenamento e transporte (Henry & Anne, 2012)

Efeito	Causas	Possíveis efeitos
Impacto	Falhas nos <i>conveyors</i> , nas paletes ou nos veículos, por efeito de mau empilhamento; Quedas em consequência de manipulações manuais; Má movimentação entre <i>conveyors</i> ; Má pavimentação encontrada durante a movimentação.	Deformação/ rotura da embalagem
Vibração	A vibração ocorre naturalmente durante o transporte. No transporte rodoviário, a má pavimentação das estradas agrava muito este efeito.	Rotura de embalagens, riscos devido ao movimento, desintegração do produto
Compressão (estática)	Mau dimensionamento da resistência da embalagem; Empilhamento em armazém	Deformação ou rotura da embalagem por esmagamento
Compressão (dinâmica)	Vibração severa durante o transporte	Deformação ou rotura da embalagem e ressonância
Alteração da humidade relativa/ temperatura	Locais de armazenamento sem condições atmosféricas controladas; Movimentação de mercadoria para locais com outros climas	Deterioração da embalagem, por exemplo corrosão

Existem produtos em que as falhas têm consequências mais graves do que outros. Nesses produtos, é necessário que haja um maior cuidado na parte da concepção e *design* do produto. O transporte de mercadorias perigosas requer uma atenção especial devido às consequências que podem surgir em caso de acidente.

Segundo a Autoridade Nacional de Proteção Civil, são consideradas mercadorias perigosas as substâncias ou preparações que, devido à sua inflamabilidade, toxicidade, corrosividade ou radioatividade, por meio de derrame, emissão, incêndio ou explosão, podem provocar situações com efeitos negativos para o Homem e para o ambiente (ANEPC, 2016).

Para o transporte de mercadorias perigosas, o controle da proteção da embalagem é muito mais exigente, tendo estas embalagens que ser certificadas por uma entidade reguladora, segundo as recomendações da ONU, de modo a garantir a segurança do meio ambiente e das pessoas que poderão interagir com a embalagem. As embalagens têm que resistir a todos os efeitos que poderão ocorrer durante o armazenamento e transporte das mesmas.

O não cumprimento da função da embalagem pode levar a consequências fatais. No transporte marítimo de embalagens que contêm produtos perigosos, podemos encontrar exemplos da gravidade da falha da embalagem (Figura 24). Em 2003, o navio *Sea Elegante* sofreu um incêndio causado por mau acondicionamento de uma carga perigosa, hipoclorito de cálcio, vitimando toda a sua tripulação. Também pelo mesmo motivo, o *Fortune Hyundai* sofreu uma explosão seguida de incêndio, provocando baixas na tripulação, em 2006 (Ellis, 2011a).

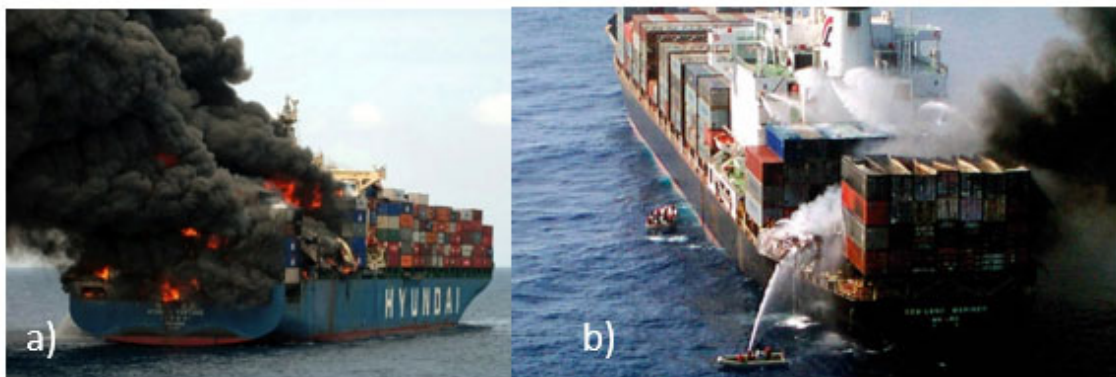


Figura 24 - Acidentes devido a mau acondicionamento de mercadorias perigosas, a) (Grey, 2018), b) (GULDNER, 2017)

Segundo Joanne Ellis (2011), 15% de todos os acidentes com porta-contentores, entre 1998-2008, envolveram produtos perigosos. Estes acidentes deram origem a incêndios e/ou explosões que, por sua vez, causaram baixas nas suas tripulações. Nestes acidentes, 66% tiveram origem em embalagens deficientes em que eram transportadas.

2.2.1.1 Legislação aplicada

Para garantir a segurança, foram desenvolvidas pela Comissão de peritos das Nações Unidas relativa aos transportes de mercadorias perigosas as recomendações da ONU. Esse documento (ADR/RPE, 2019) abrange os princípios de classificação e definição de classes de perigo, enumeração de mercadorias perigosas, requisitos de embalagens e cisternas, marcação e rotulagem, procedimentos de ensaio, condições de transporte e documentação necessária.

As recomendações da ONU contêm várias legislações e acordos internacionais sobre o transporte de materiais perigosos, sendo elas:

- Acordo Relativo ao Transporte Internacional de Mercadoria por Estrada (ADR);

- Regulamento Relativo ao Transporte Ferroviário Internacional de Mercadorias Perigosas (RID);
- Código Marítimo Internacional de Mercadorias Perigosas (IMDG);
- Instruções Técnicas da Organização da Aviação Civil Internacional para o Transporte Seguro de Mercadoria Perigosa por Via Aérea (Instruções técnicas da ICAO).

Em Portugal, a entidade responsável pela certificação das embalagens para transporte de produtos perigosos é o Centro Nacional de Embalagens, CNE.

2.2.1.2 Produtos Perigosos

O transporte de mercadoria perigosa é proibido caso não cumpra as condições previstas do ADR/RPE. Existem nove classes de matérias perigosas segundo a recomendação da ONU:

1. Materiais e objetos explosivos.
 - 1.1. Materiais e objetos que apresentam um risco de explosão em massa.
 - 1.2. Matérias e objetos que apresentam um risco de projeção sem risco de explosão em massa.
 - 1.3. Matérias e objetos que apresentam um risco de incêndio com um risco ligeiro de sopro ou de projeções, ou ambos, mas sem risco de explosão em massa;
 - 1.4. Matérias e objetos que apenas apresentam um perigo mínimo no caso de ignição ou de iniciação durante o transporte.
 - 1.5. Matérias muito pouco sensíveis, comportando um pequeno risco de explosão em massa, mas cuja sensibilidade é tal que, nas condições normais de transporte, haverá uma fraca probabilidade de combustão ou de passagem, da combustão a detonação.
 - 1.6. Objetos extremamente pouco sensíveis, não comportando risco de explosão em massa. Essas matérias apresentam uma probabilidade negligenciável de iniciação ou de propagação em acidentes.
2. Gases.
 - 2.1. Gás comprimido.
 - 2.2. Gás liquefeito.
 - 2.3. Gás liquefeito refrigerado.
 - 2.4. Gás dissolvido.
 - 2.5. Geradores de aerossóis e recipientes de baixa capacidade.
 - 2.6. Gases sobre baixa pressão.
 - 2.7. Gases não comprimidos.
3. Líquidos inflamáveis.
4. Matérias sólidas inflamáveis, matérias auto-reactivas e matérias sólidas explosivas dessensibilizadas.
 - 4.1. Matérias sólidas inflamáveis, matérias auto-reactivas e matérias explosivas dessensibilizadas sólidas.
 - 4.2. Matérias sujeitas a inflamação espontânea.

- 4.3. Matérias que em contacto com a água libertam gases inflamáveis.
- 5. Substâncias oxidantes e peróxidos orgânicos.
 - 5.1. Materiais comburentes.
 - 5.2. Peróxidos orgânicos.
- 6. Substâncias tóxicas e substâncias infetantes.
 - 6.1. Matérias tóxicas.
 - 6.2. Matérias infecciosas.
- 7. Matéria radioativa.
- 8. Matéria corrosiva.
- 9. Matérias e objetos perigosos diverso.

As embalagens metálicas leves podem ser certificadas para diferentes materiais. No entanto, nem todas as embalagens podem transportar todos os materiais, por exemplo os materiais radioativos.

Existe um grupo de embalagens onde estas são agrupadas segundo a perigosidade dos materiais que estão destinadas a transportar. A severidade dos ensaios realizados para a homologação varia conforme o grupo de embalagens. Quanto maior for a severidade, mais exigente é o ensaio. O grupo de embalagens é designado por uma letra na marcação dependendo da perigosidade (Tabela 5).

Tabela 5 - Classificação do grupo de embalagens (ADR/RPE, 2019)

Grupo de embalagem	Nível de perigo	Marcação na embalagem - Líquidos
I	Elevado	X
II	Médio	Y
III	Baixo	Z

2.2.1.3 Ensaio e requisitos para homologação

Para obter a certificação, uma embalagem metálica tem que ser aprovada nos ensaios de queda, ensaios de pressão hidráulica e ensaio de empilhamento. Para a realização destes testes, as embalagens têm de estar cheias até pelo menos 98% da sua capacidade total, no caso das matérias líquidas. É de salientar que os ensaios podem ser realizados utilizando água como líquido, desde que estejam respeitadas as condições presentes no ponto 6.1.5.3.2 do ADR/RPE.

Para além de ser aprovada em todos os ensaios necessários, o ADR de 2019 indica que todos os fabricantes e distribuidores ulteriores de embalagens, devem fornecer informações sobre os procedimentos a seguir, bem como uma descrição dos tipos e das dimensões dos fechos (incluindo as juntas requeridas), e de qualquer outro componente necessário para assegurar que os volumes, tais como apresentados ao transporte, possam ser submetidos aos ensaios necessários para a sua homologação.

2.2.1.4 Ensaios de queda

O ensaio de queda tem como objetivo verificar o comportamento da embalagem após uma queda. A embalagem deve-se manter estanque após o teste, e não deve exibir qualquer dano suscetível de afetar a segurança durante o transporte. É importante que a embalagem seja sujeita aos ensaios em condições atmosféricas idênticas às condições a que a embalagem é sujeita durante o transporte, e que a área de impacto seja uma superfície rígida, não elástica, plana e horizontal. A embalagem tem que ser cheia e fechada pelo menos 24 horas antes dos ensaios.

Outro parâmetro fundamental para este ensaio é a altura de queda. Este parâmetro varia com o perigo da matéria a transportar e com a matéria com a qual a embalagem vai ser testada (Tabela 6).

Para embalagens cheias com líquido ou sólido a transportar ou com matérias semelhantes, as alturas de queda exigidas pelas recomendações da ONU são:

Tabela 6 - Altura para ensaio de queda em embalagens ensaiadas com sólidos e líquidos a transportar (ADR/RPE, 2019)

Grupo de embalagem I	Grupo de embalagem II	Grupo de embalagem III
1.8 m	1.2 m	0.8 m

Quando a embalagem é cheia com água a altura de queda varia conforme o a densidade relativa da substância (d) destinada ao transporte (Tabela 7 e 8).

Tabela 7 - Altura para ensaios de queda em embalagens com solução aquosa com densidade relativa não superior a 1.2 (ADR/RPE, 2019)

Grupo de embalagem I	Grupo de embalagem II	Grupo de embalagem III
1.8 m	1.2 m	0.8 m

Tabela 8 - Altura para ensaios de quedas em embalagens com solução aquosa com densidade relativa superior a 1.2 (ADR/RPE, 2019)

Altura de quedas - embalagens com água com densidade relativa superior a 1.2		
Grupo de embalagem I	Grupo de embalagem II	Grupo de embalagem III
$d \times 1.5 \text{ m}$	$d \times 1 \text{ m}$	$d \times 0.67 \text{ m}$

É necessário testar seis embalagens para obter aprovação, três para cada ensaio de queda. O primeiro ensaio, realizado com três amostras, deve atingir uma área de impacto diagonalmente sobre o rebordo do tampo ou, caso não tenha rebordo, sobre uma junta periférica. No segundo ensaio, realizado com três amostras, a embalagem deve atingir a área de impacto na parte mais fraca que não tenha sido posta em prova no ensaio anterior.

No final dos ensaios, as embalagens contendo líquidos devem ser estanques, uma vez que tenha sido estabelecido o equilíbrio entre as pressões interiores e exteriores durante 3 minutos.

2.2.1.5 Ensaio de empilhamento

Estes ensaios têm como objetivo simular o transporte e armazenamentos das embalagens. A carga que será imposta as embalagens difere conforme a substância que seja usada para enchimento das embalagens, estas podem conter o líquido original ou conter água.

Cálculo da força em embalagens cheias com líquido original:

$$M_1 = M_2(H/h_1) - 1 \quad (1)$$

Em que:

- M_1 Carga de empilhamento [kg] (com fecho incluído)
- M_2 Massa da embalagem cheia e fechada, tal como em transporte [kg].
- H Altura de empilhamento [mm].
- h_1 Altura total da embalagem a ser ensaiada [mm].

Cálculo da força em embalagens cheias com água:

$$M_1 = ((H/h_1) - 1)(C * d + M) \quad (2)$$

Em que:

- $M1$ Carga de empilhamento [Kg] (com fecho incluído).
- H Altura de empilhamento [mm].
- h_1 Altura total da embalagem a ser ensaiada [mm].
- C Volume de água para ocupar 98% da capacidade total [l].
- d Densidade relativa da substância a ser transportada [kg/m³]
- m Massa da embalagem vazia e fechada, tal como em transporte [kg].

Este ensaio pode ser realizado seguindo 3 métodos: uma carga não guiada numa embalagem individual, uma carga guiada nas embalagens ou uma carga não guiada sobre três embalagens. Cada um destes métodos tem um procedimento diferente, assim como diferentes parâmetros para aceitação das embalagens (Tabela 9).

Tabela 9 - Quadro resumo dos ensaios de empilhamento possíveis de realizar segundo o (ADR/RPE, 2019)

Carga não guiada numa embalagem individual	Uma carga guiada nas embalagens	Uma carga não guiada sobre três embalagens
Método de ensaio		
Embalagem colocada numa superfície firme e plana, com carga calculada centrada no topo desta durante um determinado tempo.	A carga de ensaio deve ser guiada e constante durante um período. Pode-se recorrer a máquinas de ensaio de compressão convencional.	Embalagens colocadas na mesma direção sobre uma superfície plana, o espaçamento deve ser o mínimo possível. A chapa de aço com a carga indicada deve distribuir a força pelas 3 embalagens de igual forma
Aceitação da embalagem		
Não devem ser verificadas fugas nas embalagens		
As embalagens não devem apresentar qualquer distorção que possa afetar a segurança no transporte, mantendo a sua resistência e estabilidade no empilhamento		
O ângulo da chapa superior não deve exceder os 5°, para não afetar a estabilidade do empilhamento.	Após os ensaios, devem ser colocadas duas embalagens uma em cima da outra, cheias, e devem manter a sua posição durante 1 hora.	O ângulo da chapa superior não deve exceder os 5°, para não afetar a estabilidade do empilhamento.

2.2.1.6 Ensaio de pressão hidráulica

O ensaio de pressão hidráulica deve ser realizado em embalagens que já tenham passado o teste de empilhamento. Neste ensaio, são necessárias três amostras para a embalagem ser considerada apta. O ensaio consiste em solicitar a embalagem com uma pressão hidráulica, durante 5 minutos. Para determinar o valor da pressão hidráulica, usam-se os seguintes métodos:

1. Pelo menos, a pressão manométrica total medida no interior da embalagem (tensão de vapor do produto de enchimento à pressão parcial do ar ou dos gases inertes, menos 100 kPa), a 55°C, multiplicada por um fator de segurança de 1.5. Para determinar a pressão, deve ser tomada em conta uma taxa de enchimento de 100% e uma temperatura de enchimento de 15°C;
2. Pelo menos 1.75 vezes a pressão de vapor de 50°C, da matéria transportada, menos 100 kPa, mas não deve ser inferior a 100 kPa.
3. Pelo menos 1.5 vezes a pressão de vapor da matéria a transportar, a 55°C, menos 100 kPa, mas não deve ser inferior a 100 kPa.

A embalagem é considerada apta se não verter durante a sua pressurização.

2.2.1.7 Marcação UN

As embalagens homologadas têm que conter a marcação indelével, legível e colocada num local com umas dimensões tais que, em relação à embalagem seja facilmente visível.

O código que identifica a embalagem é constituído por:

- a) Um algarismo árabe que indica o tipo de embalagem:
 1. Tambor;
 2. Barrica de madeira;
 3. Jerricane;
 4. Caixa;
 5. Saco;
 6. Embalagem compósita;
 0. Embalagem metálica leve.
- b) Uma letra maiúscula que indica a natureza do material:
 - A. Aço (inclui todos os tipos de tratamento);
 - B. Alumínio;
 - C. Madeira natural;
 - D. Contraplacado;
 - F. Aglomerado de madeira;
 - G. Cartão;
 - H. Matéria plástica;
 - L. Tecido;
 - M. Papel multifolha;
 - N. Metal (que não aço ou alumínio);
 - P. Vidro, porcelana ou grés.
- c) Um algarismo árabe indicando a categoria da embalagem. No caso dos tambores, a marcação é a seguinte:
 1. Com tampo superior não amovível;
 2. Com tampo superior amovível.
- d) Letra maiúscula indicando o grupo de embalagem para qual a embalagem foi aprovada:
- e) Densidade relativa máxima para que a embalagem se encontra aprovada;
- f) Pressão hidráulica máxima, ou “S”, se a embalagem transportar sólidos;
- g) Ano de fabrico;
- h) Símbolo do estado que autorizou a certificação da embalagem;
- i) Nome do fabricante da embalagem.

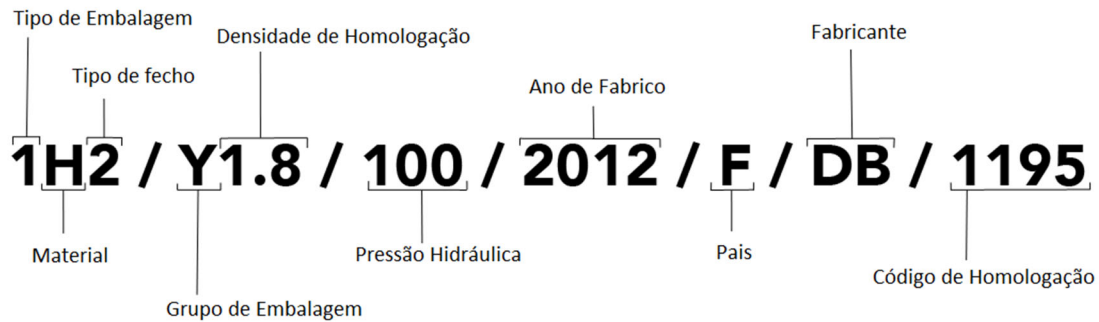


Figura 25 - Marcação UN, adaptado de (ADR/RPE, 2019)

2.3 Desenvolvimento e otimização do produto

O desenvolvimento de novos produtos (NPD) é um ponto estratégico para que as empresas consigam obter sucesso e sobreviver num mercado altamente competitivo. O desenvolvimento de novos produtos tem uma taxa de sucesso muito baixa, sendo que apenas 10% a 25% dos produtos lançados ainda se mantêm no mercado após um ano a partir do seu lançamento (Dijksterhuis, 2016).

A otimização de produtos já existentes torna-se assim uma das fases mais importantes das etapas do desenvolvimento do produto. Após o produto se encontrar no mercado, é necessário melhorar o seu desempenho para aumentar a aceitabilidade dos seus consumidores (Giacalone, 2018). Um dos fatores importantes para o sucesso na reformulação dos produtos, é saber exatamente o que o cliente deseja, quais as características do produto que são mesmo essenciais, e quanto é que os clientes estão dispostos a pagar. É também importante definir as características que não são essenciais para o produto, para as eliminar e tornar o produto mais competitivo (Mital, *et al.*, 2015).

Existem diversos modelos para desenvolvimento de novos produtos, sendo muitos deles semelhantes entre si. O modelo de Cooper (1983), um dos mais usados e referenciados, tem as seguintes etapas:

1. Ideia – quando surge um conceito que é possível reproduzir fisicamente na empresa;
2. Avaliação preliminar – recolha de informação para determinar a viabilidade do projeto, avaliação técnica do mercado e do produto;
3. Conceito – definição mais concreta do produto, a quem se destina e como será posicionado no mercado;
4. Desenvolvimento – produção de protótipos;
5. Testes – realização de testes nos protótipos, deteção e correção de falhas e ajustes no produto;
6. Triagem - Realização de produções piloto, onde são determinados tempos de produção, o custo real do produto e realização de testes de mercado;
7. Lançamento.

2.4 Conceitos de simulação

Os problemas com os quais os engenheiros geralmente se deparam, gerados por fenômenos físicos, podem ser modelados pela via de equações diferenciais. O problema põe-se que geralmente essas equações são de difícil resolução pelos métodos clássicos. Para resolução desses problemas, existe o método dos elementos finitos (FEM), onde se realiza uma aproximação ao fenômeno físico. Por outras palavras, a ideia base da análise por elementos finitos é conseguir resolver problemas complicados de forma simples (Rao, 2005).

Esta ferramenta é amplamente utilizada na indústria, na fase de projeto, onde os elementos são testados virtualmente, permitindo assim corrigir erros e tomar decisões de escolha entre soluções. O FEM permite reduzir tempo de projeto, substituindo testes experimentais por testes virtuais numa fase inicial e, conseqüentemente, reduzir o custo destes (Makinouchi, 2001).

2.4.1 Tipos de análise

Para a resolução de um determinado problema por simulação de elementos finitos, é necessário fazer uma definição do mesmo. Inicialmente, é necessário classificar a geometria, definir os materiais a analisar juntamente com as suas propriedades e, posteriormente, classificar o tipo de análise a realizar. Muitas vezes, é necessário fazer simplificações nos modelos, dependendo muito do problema a analisar.

Para a resolução de um problema, tem que se optar por diferentes tipos de análise estática ou dinâmica e, posteriormente, análise linear e não linear.

2.4.1.1 Análise estática ou análise dinâmica

Quando há solicitações de materiais, as acelerações a que os componentes da estrutura ficam sujeitos estão relacionadas com forças de inércia. Desta forma, as análises seriam dinâmicas. Há problemas em que estas forças de inércia são desprezáveis, sendo possível o uso de análise estática (Azevedo, 2003). A análise estática, para além de ignorar a inércia das estruturas, também ignora a dependência do tempo dos efeitos no material. Apesar disso, suporta análises não lineares e lineares (ABAQUS, 2016c).

Dentro da análise estática, existem dois métodos para a resolução de problemas, sendo eles (ABAQUS, 2016c):

- *Static, General* – Este método pode conter materiais lineares e não lineares;
- *Static, Riks* – Este método é usado para prever instabilidades e falhas de estruturas com geometrias não lineares. Também pode ser usado para o estudo de convergências, quando não existem instabilidades no modelo. Este método suporta materiais lineares e não lineares, assim como condições-fronteira.

2.4.1.2 Análise linear ou não linear

Na análise linear, os estudos admitem que não existe influência na distribuição dos esforços quando há modificações geométricas, e que a estrutura responde linearmente estando em presença de materiais lineares. Nestas análises, são consideradas apenas as zonas de deformação linear do material (Azevedo, 2003). Já numa análise não linear, são admitidas grandes deformações, materiais não lineares e contactos com atritos, entre outros. Neste caso, são consideradas as propriedades da zona plástica do material (ABAQUS, 2016c).

2.4.2 Tipo de geometrias

Para além do tipo de análise, a definição do tipo de estrutura é importante para este tipo de análises. A geometria da estrutura pode ser definida de três formas diferentes:

- Estrutura *shell* – usa-se quando a espessura é muito inferior às restantes dimensões da peça;
- Estrutura reticulada – são as constituídas por barras prismáticas, cujas dimensões transversais são muito menores do que o comprimento do respetivo eixo;
- Estrutura sólida – todas aquelas que não têm características que permitam pertencer aos restantes grupos (Azevedo, 2003).

2.4.3 Definição da malha

O objetivo da malha é dividir o componente a analisar em pequenas partes, de forma a analisar cada uma de forma independente. Para elementos mais pequenos, maior será a precisão da simulação, mas o tempo de computação será igualmente muito maior.

O tipo de elementos também vai determinar a característica de uma malha. Existem elementos (Figura 26) unidirecionais, bidimensionais e tridimensionais, em que cada um deles se divide em subcategorias de elementos (ABAQUS, 2016a).

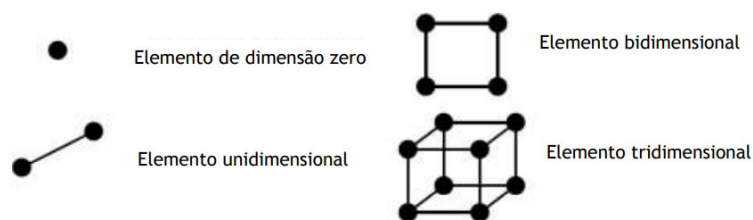


Figura 26 - Tipos de elementos disponíveis para definir estruturas, adaptado de (ABAQUS, 2016a)

Para cada tipo de estrutura, há malhas que são mais indicadas. Por exemplo, para estruturas laminares, usam-se elementos bidimensionais triangulares e quadriláteros (Figura 27).

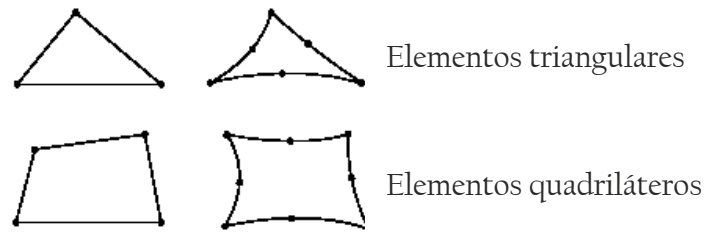


Figura 27 - Elementos bidimensionais usados para estruturas laminares, adaptado de (ABAQUS, 2016b)

A escolha da subcategoria dos elementos para a malha tem que ser definida em função da geometria (Figura 27), pois tem grande influência na subdivisão do sólido, para posterior análise dos elementos (ABAQUS, 2016b).

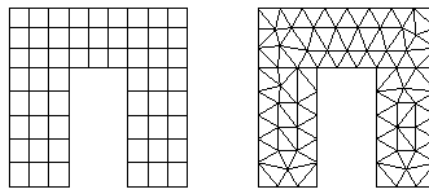


Figura 28 - Malhas com diferentes tipos de elementos bidirecionais (ABAQUS, 2016b)

O *software* de simulação ABAQUS® contém duas técnicas distintas para a formulação de uma malha: a *Top-down* e a *Bottom-down*. A primeira técnica gera a malha a partir da geometria, região ou elemento, individualmente. Como resultados tem-se uma malha conforme a geometria original, mas este tipo de técnica tem dificuldades em criar uma malha de alta qualidade para regiões com formas complexas.

Por outro lado, a *Bottom-down* gera as malhas tridimensionais usando entidades bidimensionais, por exemplo uma face geométrica. Esta técnica apenas pode ser usada para criar malhas em estruturas sólidas tridimensionais. Com esta técnica, consegue-se obter malhas de alta qualidade para regiões tridimensionais de geometria complexa (ABAQUS, 2016a).

2.4.4 Simulação aplicada a elevadas deformações

O recurso a ferramentas de simulação numérica para a resolução de problemas envolvendo produtos exposto a pressão interna é frequentemente usada, havendo estudos sobre o comportamento deste material com diferentes solicitações.

Nos estudos com elevadas deformações, a malha deve adaptar-se ao modelo. Desta forma, zonas com maior deformação devem ter malhas mais finas. Existem estudos realizados a recipientes de paredes finas, todos eles com elevadas deformações, onde nas simulações usadas têm uma malha que se adapta nas diferentes zonas. Para além dessa conclusão, os estudos presentes na Tabela 10, contêm informação sobre o comportamento de diferentes geometrias, quando solicitados com pressão.

Tabela 10 - Análise dos estudos realizados a recipientes de paredes finas com elevadas deformações

Referência bibliográfica	Descrição
(Lombarkia <i>et al.</i> , 2013)	O autor estudou numericamente o comportamento de uma embalagem cilíndrica à pressão interna, recorrendo ao software ABAQUS®. A embalagem era constituída por folha-de-flandres (TS 475), com uma espessura de 0.2 mm e foi solicitada com uma pressão de 0.6 MPa. Após a simulação, foram encontrados valores ótimos para a geometria de fecho da embalagem, onde as dimensões otimizadas foram $r1$, $r2$ e h , conforme o exposto na Figura 29.
Zhu <i>et al.</i> (2018)	Os autores estudaram a influência da pressão externa num recipiente de aço inoxidável AISI 304, usado para mergulhos com elevadas profundidades. O estudo foi realizado para perceber o porquê de o recipiente sofrer deformações plásticas antes do estipulado e, após descoberta a causa, encontrar uma melhoria geométrica para a resolução desse problema. Concluíram que aumentando a razão altura/raio, as deformações diminuem. Também concluíram que as variações de espessuras do recipiente levam a que este esteja sujeito a deformações mais elevadas.
(Li <i>et al.</i> , 2019)	Estudam o comportamento de recipientes com pressão interna com topo elíptico. Estes recipientes têm uma espessura baixa, comparando com as suas restantes dimensões, tornando-se assim suscetível a elevadas deformações nas suas juntas. Foi concluído que, com esta geometria, as deformações são locais, progressivas e auto limitantes. Esta estrutura é auto limitante, pois quando se aplica pressão na zona constituída por uma circunferência, a pressão exerce forças compressivas que se eliminam devido à sua geometria
(Ahmed, 2018)	Neste estudo, o autor conclui que na simulação por elementos finitos de chapas de metal, quanto maior a espessura da chapa, maior a eficiência do estudo. Desta forma, pode-se concluir que, estudos em folha-de-

flandres terão uma menor eficiência nos estudos em FEM, em relação a outras chapas com maior espessura.

(Neto, 2017)

Nesta dissertação, foi melhorado um sistema de fecho de uma embalagem UN. Esta embalagem conta com um fecho Tulipa que contém um aro plástico. Para incrementar a densidade de homologação desta embalagem, o autor, recorreu a uma ferramenta de análise de elementos finitos, o ABAQUS CAE®. Com esta ferramenta, foi possível a redefinição geométrica do aro o qual levou a um aumento de *performance* das embalagens nos ensaios UN.

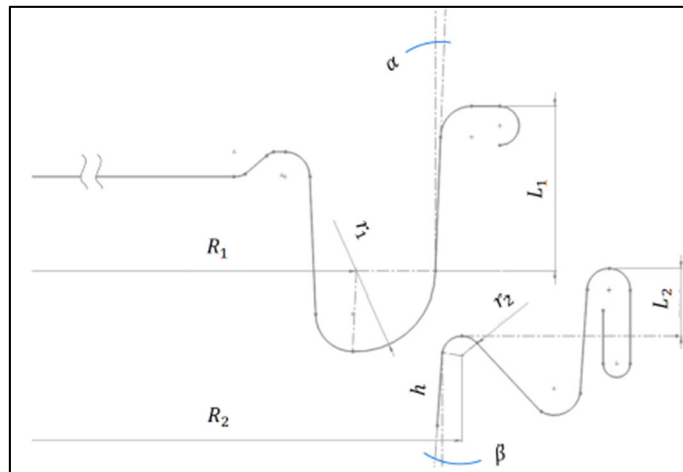


Figura 29 - Sistema de fecho de uma embalagem metálica estudada por (Lombarkia *et al.*, 2013)

2.5 Ferramentas da qualidade

As ferramentas de qualidade são essenciais nos projetos, com vista a auxiliar na análise de factos e permitir uma tomada de decisões nos projetos mais consciente. Segundo Costa *et al.* (2017), para que as organizações sejam capazes de sobreviver, é crucial buscar a excelência operacional que pode ser encontrada através da aplicação de ferramentas da qualidade. As ferramentas da qualidade são uma via para a melhoria constante das instituições, dos seus processos, dos seus produtos e redução constante dos seus custos. Por exemplo, Costa *et al.* (2018), com a aplicação de uma ferramenta de qualidade, o *brainstorming*, aumentou a produtividade de um processo de fabrico em 19%, melhorando o equipamento de produção.

As ferramentas da qualidade podem ser aplicadas a todas as áreas das empresas, mas segundo Ahmed (2003), a escolha das ferramentas de qualidade por parte das empresas está relacionada com as funções e as atividades dessa organização, como por exemplo:

- Lançamento de novos produtos - *brainstorming*; diagrama causa – efeito, QFD (*Quality Function Deployment*);
- Fase de produção – gráfico de Pareto; fluxogramas; gráficos de controlo;
- Avaliação do processo ou produto – histograma; diagrama de dispersão;
- Fase de recolha de dados – lista de verificação.

Os mesmos autores ainda acrescentam que nem todas as ferramentas são necessárias para uma determinada organização, mas, por outro lado, há outras que são imprescindíveis.

2.5.1 Ishikawa

Sempre que surge um problema, é necessário descobrir as causas que provocam a falha, para que esta seja rapidamente resolvida. Para tal devem ser estudadas todas as possíveis causas, antes de se tentar encontrar soluções. Com esta filosofia, Kaoru Ishikawa, em 1960, desenvolveu o diagrama causa efeito (Kiran, 2017).

É um método que pode ser aplicado a qualquer problema, podendo também ser adaptado conforme as necessidades. Este método traz vários benefícios para os seus utilizadores, tais como:

- Ferramenta visual de fácil aprendizagem;
- Organiza as ideias de forma a manter o foco nos problemas atuais;
- Promove o pensamento em sistema através das ligações visuais;
- Prioriza análises extras e ações corretivas;

Este diagrama (Figura 30) pode ser adaptado a várias situações. Geralmente, em contexto de produção, usam-se como causas os 6 Ms. Esta divisão não é obrigatória, podendo este diagrama ter as categorias mais indicadas para um caso de estudo em específico, logo que estas retratem a realidade (Kiran, 2017).

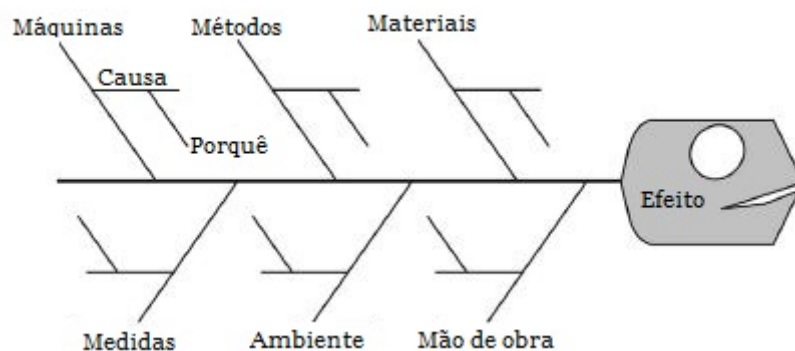


Figura 30 - Esquema de diagrama de Ishikawa (6 Ms) (Kiran, 2017)

Este diagrama ajuda a identificar as causas que podem estar na origem de um determinado problema. Com a conceção do diagrama, aumenta a perceção das diferentes causas, assim como as que poderão ter mais impacto. Com este diagrama, também é possível após a identificação do problema raiz, traçar um plano de ações que vise atuar nas áreas chave para a resolução do problema. (Kiran, 2017)

Na literatura, é possível encontrar os mais diversos trabalhos, nas mais diversas áreas, que usam como ferramenta para a melhoria o diagrama de *Ishikawa*, ver Tabela 11.

Tabela 11 - Análise da aplicação do diagrama de *Ishikawa*

Referência bibliográfica	Descrição
(Costa <i>et al.</i> , 2017)	Neste estudo, foi usado o diagrama de <i>Ishikawa</i> para determinar as causas da variabilidade de um processo de extrusão. Esta técnica foi complementada com uma recolha de dados e análise através de diagramas de Pareto. O uso destas técnicas permitiu a realização de determinadas ações, que levaram a uma redução significativa das peças com defeito devido à elevada variabilidade.
(Luo <i>et al.</i> , 2018)	Neste estudo, que pretende melhorar a segurança durante o vazamento de tanques hemisféricos de gás, foi usado o diagrama de <i>Ishikawa</i> para apurar as causas de todos os eventos ocorridos durante os vazamentos. Com esta ferramenta, foi possível a implementação de novas medidas de segurança para evitar a ocorrência de acidentes.
(Neves <i>et al.</i> , 2018)	Este estudo tinha com objetivo a aplicação <i>Lean</i> na indústria têxtil. O diagrama de <i>Ishikawa</i> , em conjunto com o <i>Brainstorming</i> , são usados como ferramentas para identificar as causas das não conformidades na tecelagem. Este trabalho conseguiu um ganho de 10% de rentabilidade dos operadores.
(Silva <i>et al.</i> , 2018)	Nesse caso de estudo, foi usado o diagrama de <i>Ishikawa</i> para detetar os fatores que afetavam a qualidade da superfície de uma peça produzida por <i>Die casting</i> . Com esta ferramenta, e com auxílio de uma ferramenta de simulação, o SolidCast™, foi possível a definição de parâmetros ideias para melhorar a superfície da peça.

2.5.2 Benchmarking

Existem vários conceitos da metodologia *Benchmarking*. Segundo a *International Benchmarking Clearinghouse* (IBC), é um processo sistemático e contínuo de avaliação,

onde se mede e compara sistematicamente os processos industriais de uma organização em relação aos líderes mundiais (IBC, n.d.).

Segundo Anand (2008), também se pode definir o *benchmarking* como um processo que visa identificar, conhecer, aprender e comparar as melhores práticas e processos encontrados noutras organizações. Após o uso desta ferramenta, a empresa tem de ser capaz de identificar as suas falhas e as novas oportunidades, para assim conseguir aumentar a sua conectividade. O autor acrescenta ainda que o *benchmarking* tem sido uma ferramenta muito usada nas últimas duas décadas para o desenvolvimento de áreas críticas, aprendendo com as melhores práticas existentes na concorrência, atingindo assim a resolução de problemas.

É importante sublinhar que o *benchmarking* é mais que um usurpar de ideias, pois só funciona se o seu utilizador perceber o que está a copiar (ADEIRA, 1999).

Esta técnica apresenta as seguintes vantagens (Kiran, 2017):

- As melhores práticas podem ser incorporadas na empresa que realiza esta técnica;
- Podemos observar os *targets* alcançados pelas outras empresas;
- A resistência à mudança será menor se as ideias vierem de fora;
- Avanços técnicos dos concorrentes podem ser identificados mais cedo, permitindo também otimizar o produto mais cedo;
- Crescimento de conhecimento;
- Ajuda as empresas a realizarem uma análise SWOT, onde podem identificar mais facilmente as suas fraquezas;
- Os requisitos do cliente podem ser mais facilmente atendidos.

Como qualquer outra técnica, também tem as suas desvantagens (Kiran, 2017), sendo elas:

- Pode criar julgamentos precipitados e incorretos;
- É muito difícil encontrar informações sobre a concorrência;
- Requer conhecimento sobre os processos atuais;
- A realização desta técnica consome tempo e dinheiro;
- Ainda está sujeito a resistência à mudança.

A implementação desta técnica está citada por vários autores, existindo diferentes metodologias, que entre si, têm etapas comuns, seguindo o ciclo de melhoria contínua de Deming: Planear (*Plan*), Executar (*Do*), Analisar (*Check*) e Corrigir (*Act*). Andersen (1998), refere que, após o planeamento, deve-se considerar uma etapa para recolha de dados.

Na literatura, é possível encontrar os mais diversos trabalhos, nas mais diversas áreas, que usam como ferramenta o *Benchmarking*, ver Tabela 12.

Tabela 12 - Análise da aplicação do *Benchmarking*

Referência bibliográfica	Descrição
(Ruiz <i>et al.</i> , 2018)	Neste estudo, o <i>benchmarking</i> é definido como uma ferramenta para definir os objetivos para universidades públicas espanholas. Com esta ferramenta, é possível criar objetivos atingíveis que focam nas melhores práticas encontradas noutras instituições. Por outro lado, também possibilita uma avaliação do desempenho da instituição.
(Passos <i>et al.</i> , 2013)	Neste estudo foi analisada a aplicação do <i>benchmarking</i> em três empresas distintas. Com esta ferramentas, as empresas definiram metas, onde após a primeira aplicação o seu desempenho geral melhora, mas numa segunda aplicação da técnica, estas empresas tornam-se mais competitivas.
(Barber, 2004)	Foi estudada a aplicação do <i>benchmarking</i> na gestão de projetos, onde o autor defende que esta técnica permite avaliar as metas do projeto, e definir se esses objetivos tornam o projeto mais competitivo. O autor considera o <i>benchmarking</i> uma ferramenta chave para apoio à gestão de projetos.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 - COLEP

3.2 - Metodologia para resolução do problema

3.3 - Estudo das características do produto

3.4 - Desenvolvimento do novo produto

3.5 - Implementação do protótipo

3.6 - Testes e resultados

3.7 - Análise crítica

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 COLEP

Em 1965, Ilídio Costa Leite de Pinho fundava na sua terra natal, Vale de Cambra, a COLEP (acrónimo de Costa Leite de Pinho). No início a empresa produzia manualmente embalagens metálicas alimentares. Posteriormente alargou a sua área de atuação para o fabrico de embalagens para transporte de produtos industriais, produção de aerossóis em folha-flandres e produção de componentes plásticos para as embalagens metálicas. Em 1975 inicia-se a atividade do Contract Manufacturing. Com a continuação da expansão de negócios é adquirida em Espanha uma fábrica de embalagens metálicas, atualmente a COLEP Navarra.

No ano 2000 o grupo RAR faz um investimento no setor das embalagens, adquirindo na totalidade a COLEP Portugal, e quatro anos depois dá-se a união entre a COLEP e CCL – Custom Manufacturing Europe formando assim a maior empresa da Europa de *Contract Manufacturing*, até a data, tendo um total de cinco fábricas. Posteriormente à compra pelo grupo RAR a empresa foi-se expandindo para a Polónia, México e Brasil. (Rar, n.d.)

Já em 2013, para reforçar a sua presença global, a COLEP celebrou uma aliança estratégica denominada de ACOA – *the Alliance of COLEP and One Asia*. Como seu parceiro tem a “One Asia Network”, que é composta pela Daizo Corporation, do Japão, a Pax Australia e a Asian Aerosols, da Índia. Este acordo consiste na partilha de conhecimentos e práticas nas áreas da Inovação, *Manufacturing* e *Supply-Chain*, permitindo assim à empresa criar uma plataforma mundial para implementar os seus projetos e a partilha de um *know-how* relativo à produção (Rar, n.d.).

A COLEP conta com 2 939 colaboradores e tem um volume de negócios de 411 milhões de euros (dados relativos a 2017). O grupo RAR conseguiu atingir um volume de negócios de 758 milhões de euros em 2017, estes valores traduzem-se no crescimento dos resultados líquidos em 23%, relativamente ao ano anterior (Rar Portugal, 2017) (Colep, 2017).

Neste momento, a COLEP tem uma rede de dezassete unidades industriais situadas em Portugal, Alemanha, Espanha, Polónia, Brasil, México, EUA, Índia, Japão, China, Tailândia e Austrália, sendo a única empresa a operar em *Contract Manufacturing* a nível global. Nesta divisão encontramos o *Aerosol Contract Manufacturing*, onde é disponibilizado ao cliente uma solução completa e adaptada à sua necessidade. Existe também a área de *Liquids and Creams Contract Manufacturing*, onde a COLEP é responsável pelo desenvolvimento do produto, produção e inovação do mesmo. Para finalizar, existe a área do *Packaging*, onde são produzidas as embalagens metálicas e as plásticas, tendo as embalagens plásticas um menor destaque. A produção de embalagens metálicas está dividida em três setores: *Printing*, *Tinplate Aerosols* e *General Line Cans*.

Neste enquadramento, este projeto será desenvolvido na área do *Packaging*, onde se encontra o departamento Técnico. Este departamento desenvolve trabalhos com todas as áreas da produção, estando a seu cargo o desenvolvimento de novos produtos, definição das especificações, geometrias, materiais e procedimentos de transporte. Também é de sua competência todos os aspetos legais das embalagens, e sua homologação.

3.1.1 Embalagens produzidas

A Colep produz embalagens ligeiras em folha-de-flandres, todas elas constituídas por três peças. O leque de embalagens é muito diversificado, abrangendo a área das embalagens alimentares, do *general line* e dos Aerossóis (Figura 31).



Figura 31 - Diferentes modelos de embalagens produzidos na COLEP

Estas embalagens têm um código por formato, para serem mais facilmente identificáveis. Geralmente, esse código é constituído por:

1. O formato da embalagem;
2. A dimensão interior da parte superior da embalagem;
3. A altura da embalagem.

No caso das embalagens retangulares, a indicação da dimensão interior da parte superior é dada pelo comprimento e pela largura (ISO 90-2, 1997).

3.1.2 Embalagem alvo deste trabalho

Este trabalho incide numa embalagem metálica troncocónica (TC), com um diâmetro interior da parte superior de 286 mm e uma altura de 450 mm. Este produto está inserido no *General Line* com a seguinte designação: TC 286xh P UN (Figura 32).

O TC 286 P UN é constituído por três componentes, o tampo, o fundo e o corpo. O fundo encontra-se ligado ao corpo por uma cravação tripla. Já a tampa contém um vedante que, depois de fechado, garante a estanquidade da embalagem. O tampo e o fundo estão desenhados de forma a possibilitar o empilhamento das embalagens fechadas. De igual modo, o corpo da embalagem é expandido durante o seu processo de fabrico, para permitir o empilhamento de baldes vazios.



Figura 32 - Embalagem com a referência TC 286 P UN (Colep, 2018)

O sistema de fecho da embalagem é por garras. Este fecho é constituído pelo tampo, o vedante e o final do corpo enrolado, que se domina de rebordo (Figura 33). Para além destes constituintes, existem as garras, que ajudam na fixação do tampo e no fecho da embalagem. O painel do tampo também tem influência no fecho, sendo incluído como um dos seus componentes.



Figura 33 - Sistema de fecho do balde de garras

Este produto pode ser encontrado com diferentes capacidades, dependendo da altura do balde. Essas capacidades já estão definidas pela empresa. A máxima capacidade está fixada nos 25 litros e a mínima nos 10 litros.

A TC 286 P UN tem como objetivo ser certificada para o transporte das seguintes classes de matérias perigosas, segundo o RID/ADR:

- Classe 3 – líquidos inflamáveis;
- Classe 6.1 – matérias tóxicas;
- Classe 8 – matérias corrosivas;
- Classe 9 - matérias e objetos perigosos diversos;

A sinalização que está presente na embalagem está relacionada com o material que esta transporta. Na TC 286 P UN pode ser encontrada a simbologia da Figura 34.

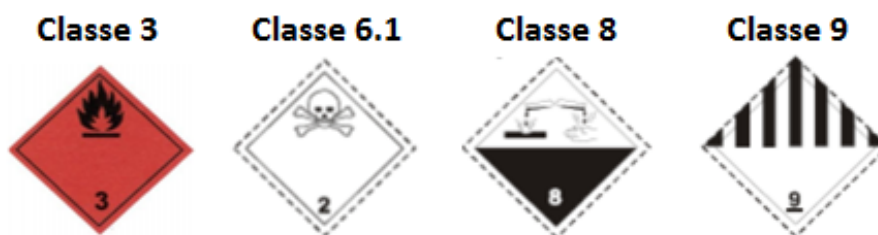


Figura 34 - Simbologia das classes admitidas no TC 286 P UN, adaptado de (ADR/RPE, 2019)

A embalagem em estudo pertence ao grupo II e III de embalagens, estando apta para o transporte de material de médio e baixo perigo.

3.1.3 Processo de concepção e fabrico (design do produto + fluxograma)

O processo de fabrico dos baldes UN na empresa (Figura 35), começa na receção da matéria-prima em *coils* de folha-de-flandres, de onde posteriormente são cortadas folhas com dimensões já predefinidas. A esta operação denomina-se corte primário. Posteriormente, a folha cortada é encaminhada para a litografia, onde sofre um

processo de envernizamento e impressão. Com a folha já impressa e inspecionada, esta segue para o corte secundário.

No corte secundário, são cortados os corpos dos baldes e dos tampos em folhas de tamanho mais reduzido. As folhas cortadas para os tampos seguem para estampar, onde é também aplicado o vedante. Nesta fase, temos o tampo como um produto já acabado.

É também no corte secundário que se dá a produção dos fundos, através da estampagem da folha proveniente do corte primário. Após a produção do fundo, este segue para a linha da montagem, para ser mecanicamente acoplado ao corpo do balde.

A folha cortada dos corpos segue para a linha de montagem dos baldes, onde é realizada a sua soldadura, formando um tubo cónico, o qual se domina de virola. Posteriormente, a virola é expandida, sendo formado depois o rebordo e o canal do balde. Depois da formação do corpo do balde, destacam-se as operações de cravação do fundo no corpo, soldadura do olhal e colocação da asa metálica.

Nesta fase, o balde encontra-se montado, sendo embalado para posterior transporte, visto que é o cliente final que enche e fecha este tipo de embalagem. Os tampos são embalados separadamente da embalagem.

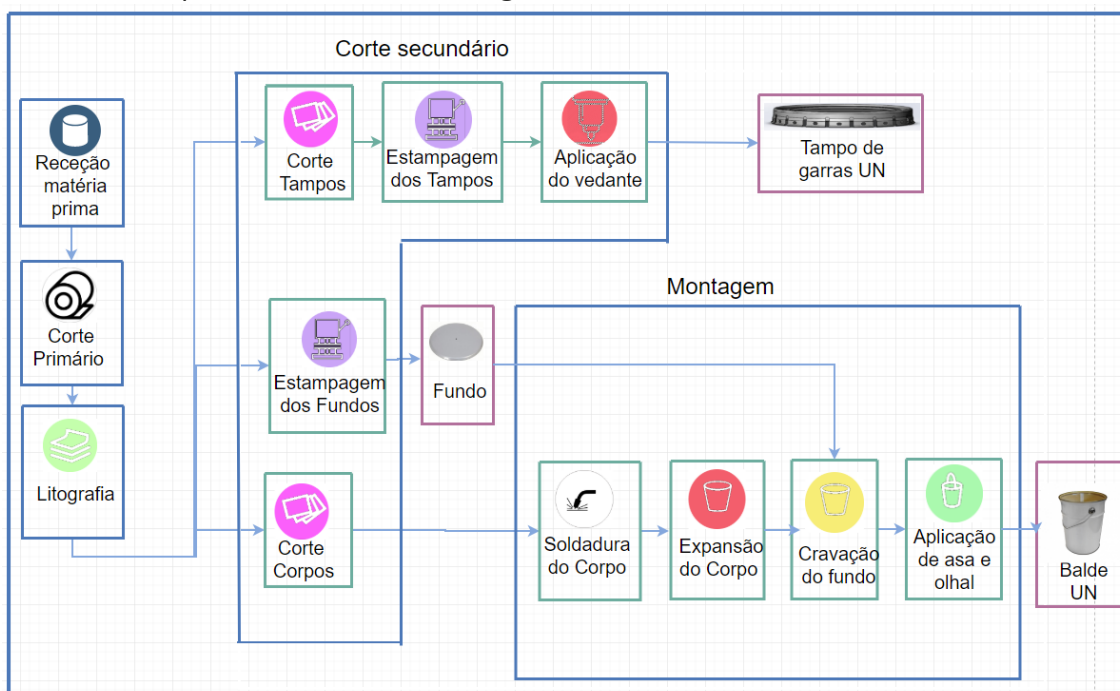


Figura 35 - Esquema do processo de fabrico de baldes UN e do respetivo tampo

3.1.4 Identificação do problema

Cada vez mais, o mercado torna-se mais competitivo e exigente. Como tal, o grande desafio das empresas é conseguir que os seus produtos sejam cada vez mais competitivos. Essa competitividade impõe às empresas produzir cada vez de forma mais económica. Como a Colep produz embalagens certificadas, a redução de custos não pode afetar a robustez dos seus produtos. Por outro lado, há necessidade de aumentar

as certificações, para acompanhar as exigências do mercado. É no equilíbrio destes dois requisitos que se encontra o objetivo deste trabalho, focado apenas num dos produtos da empresa.

Foi definido que a embalagem alvo deste projeto terá uma determinada redução de espessura (Tabela 13). Essa redução de espessuras afetará a robustez da embalagem, tendo esta que ser otimizada para conseguir vencer os ensaios para homologação.

Tabela 13 - Redução de espessuras da embalagem alvo do projeto

	TC 286 P UN Atual	TC 286 P UN Futuro	% de Redução
Corpo [mm]	0.38	0.34	- 12.8%
Tampo [mm]	0.48	0.43	- 10.4%
Fundo [mm]	0.39	0.34	- 10.5%
Peso [g]	1765	1601	- 9.03%

Outro fator que tem que se ter em conta, é o fecho da embalagem. A empresa que produz a embalagem não é a mesma que procede ao seu enchimento e posterior fecho. Como referido anteriormente, segundo o ADR/RPE de 2019, o fabricante da embalagem é responsável por informar o cliente do procedimento para fecho correto das embalagens.

Sucedem-se que as linhas de enchimento de produtos perigosos são afetadas pela variabilidade do processo, e nem sempre há a sensibilidade na produção para o que deve ser um correto fecho da embalagem. Desta forma, o fecho da embalagem deverá ser robusto o suficiente para absorver esta variabilidade existente no cliente.

3.2 Metodologia para resolução do problema

Para a resolução do problema, foram inicialmente estudadas as características desta nova embalagem, para conhecer o seu comportamento com a alteração de espessuras. A identificação dos diferentes fatores que influenciam no desempenho da embalagem é necessária, para determinar as áreas que devem sofrer uma intervenção. Com tal, foi realizado um diagrama de espinha de peixe (*Ishikawa*), com o auxílio da equipa multidisciplinar deste projeto.

Chegando a este patamar, foi decidido, através de uma matriz esforço-impacto, quais as possíveis áreas onde seria conveniente realizar as melhorias. Estas áreas são aquelas que, com um menor esforço, se consegue obter uma melhor melhoria. Para complementar o estudo das embalagens, foi realizada também uma análise à concorrência (*benchmark*), para comparação de especificações de embalagens e de geometrias.

Foram estudadas as diferentes geometrias e características pela ordem presente na matriz de impacto, foram também desenvolvidos nesta fase novos conceitos para o produto e realizados estudos para delinear o melhor *design* do balde.

Posteriormente, após ter as melhores soluções já estudadas, foram realizados protótipos para ensaios e posterior validação.

3.3 Estudo das características do produto

Para um melhor conhecimento do comportamento da embalagem alvo deste trabalho, é necessário conhecer bem o seu estado atual. Esse conhecimento passa por caracterizar as matérias-primas, para prever posteriores comportamentos nas alterações do *design* da embalagem, observar o sistema de fecho para registrar alterações sofridas pela redução de espessuras, realizar ensaios de homologação para relatar o estado inicial e, por fim, descrever os possíveis modos de falha da embalagem.

3.3.1 Estudo das características da folha-de-flandres

A folha-de-flandres tem as suas propriedades no sentido da laminagem descritas na norma EN 10202:2002. Na norma, apenas estão presentes os valores de tensão de cedência, tensão de rotura no sentido da laminagem e dureza *Rockwell*.

Para uma análise por elementos finitos, são necessários outros valores para além dos fornecidos pela norma, como o módulo de elasticidade e o comportamento da folha na deformação plástica. Assim, torna-se crucial saber em que condições a folha-de-flandres se encontra mais debilitada, para conseguir simular um cenário onde o aparecimento de falhas seja mais provável. Nesse sentido, foram realizados ensaios de tração em diferentes folhas nas seguintes direções:

- Direção 1 – no sentido da laminagem;
- Direção 2 – perpendicular ao sentido da laminagem;
- Direção 3 – a 45° do sentido de laminagem.

Os ensaios de tração no sentido da laminagem foram realizados segundo a norma EN 10202:2001, com a geometria dos provetes a ser definida segundo a norma ISO 6892-1:2009. Para a conceção dos provetes foi usada uma folha com 0.38 mm de espessura, onde foram cortados 6 provetes em cada uma das direções. A preparação dos provetes esteve ao cargo de um fornecedor de folha-de-flandres da empresa.

As restantes direções não se encontram especificadas na norma EN 10202:2001, pelo que foram cortados provetes, no mesmo local da folha, mas com diferentes direções, em relação ao sentido de laminagem. O método de ensaio utilizado foi igual para todas as direções.

No sentido da laminagem, foram obtidos valores dentro das especificações da norma da folha-de-flandres (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**). O módulo de elasticidade está afetado por alguma variabilidade (Figura 36).

Tabela 14 - Resultados obtidos nos ensaios de tração no sentido da laminagem

	1	2	3	4	5	6	Média	Desvio padrão
Tensão de cedência [MPa]	276	276	268	272	275	275	274	3
Tensão de rotura [MPa]	399	399	398	400	399	399	399	1
Módulo de elasticidade [GPa]	19,7	12,6	16,2	16,5	12,6	18,4	16.0	2.7
Extensão à força máxima [%]	18.3	19	18.9	18.8	18.4	18.4	-	-

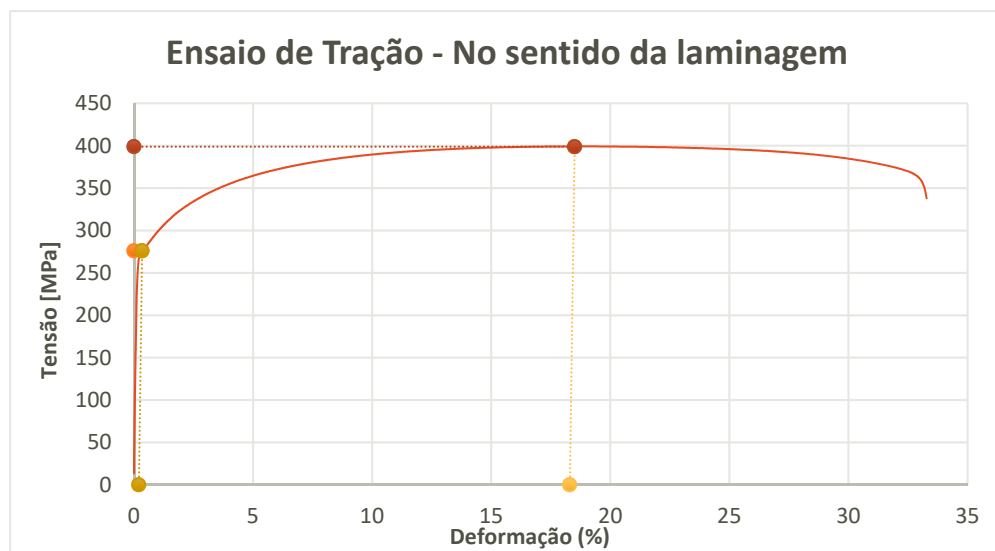


Figura 36 - Curva tensão deformação do ensaio de tração do provete nº 1 obtido no sentido da laminagem

As propriedades da folha-de-flandres no sentido perpendicular à laminagem não se encontram normalizadas, como tal não existem dados para a comparação. Os resultados obtidos no que diz respeito ao módulo de elasticidade, são inferiores aos obtidos na direção de laminagem, sendo o valor mais baixo de 8.3 GPa (Figura 37).

Tabela 15 - Resultados obtidos nos ensaios de tração no sentido perpendicular a laminagem

	7	8	9	10	11	12	Média	Desvio padrão
Tensão de cedência [MPa]	272	266	268	275	276	269	271	3
Tensão de rotura [MPa]	409	404	407	409	407	409	408	2
Módulo de elasticidade [GPa]	13,6	13,4	12,0	8,3	19,9	19,4	14.4	4.8
Extensão à força máxima [%]	19.3	18.8	18.8	18.8	19.1	19.2	-	-

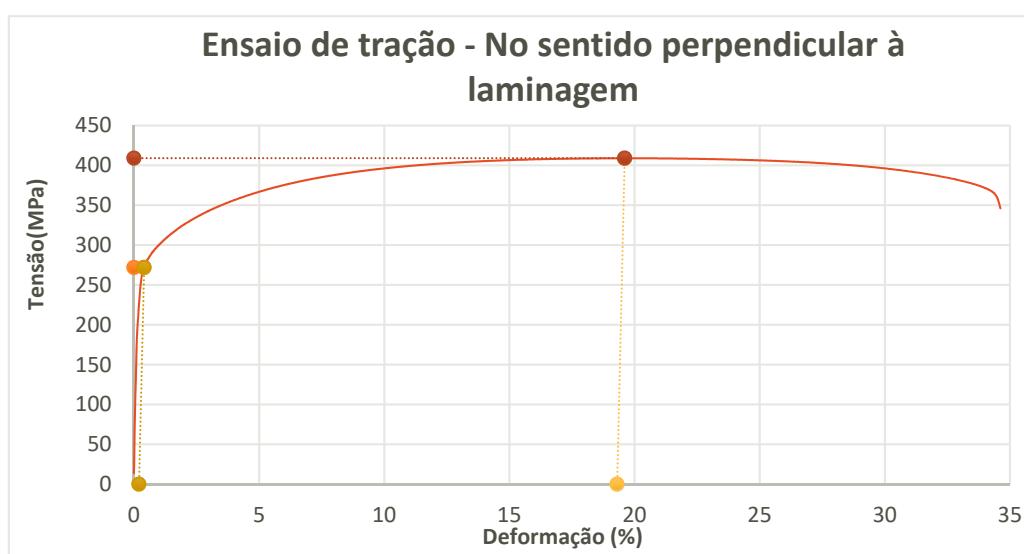


Figura 37 - Curva tensão deformação do ensaio de tração do provete nº 7 obtido no sentido perpendicular à laminagem

As propriedades a 45 graus relativamente ao sentido de laminagem também não se encontram definidas pela norma. Nesta direção (Tabela 16), é possível encontrar valores médios mais elevados na tensão de cedência, na tensão de rotura e no módulo de elasticidade. É neste sentido também que a extensão à força máxima é mais elevada, sendo superior a 20% em dois provetes. Na Figura 38 é possível verificar a curva tensão deformação do provete nº 13.

Tabela 16 - Resultados obtidos nos ensaios de tração a 45 ° do sentido da laminagem

	13	14	15	16	17	18	Média	Desvio padrão
Tensão de cedência [MPa]	280	271	269	280	272	274	274	4
Tensão de rotura [MPa]	404	402	403	404	402	404	403	1
Módulo de elasticidade [GPa]	20,8	16,5	19,5	19,4	12,8	18,8	18.0	2.7
Extensão à força máxima [%]	19.4	19.2	19.7	19.8	20.1	20.1	-	-

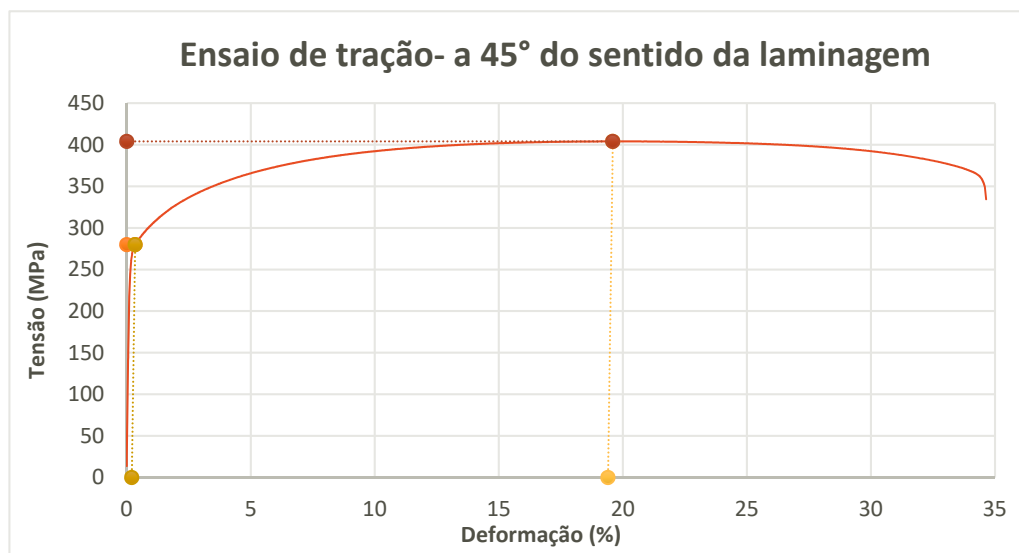


Figura 38 - Curva tensão deformação do ensaio de tração do provete nº 13 obtido no sentido perpendicular à laminagem

3.3.2 Caracterização do processo de fecho

O fecho das embalagens de garras metálicas é realizado com o auxílio de uma ferramenta, podendo esta ser manual ou automática. Todas as ferramentas de fecho de baldes de garras UN, seguem o mesmo princípio de funcionamento.

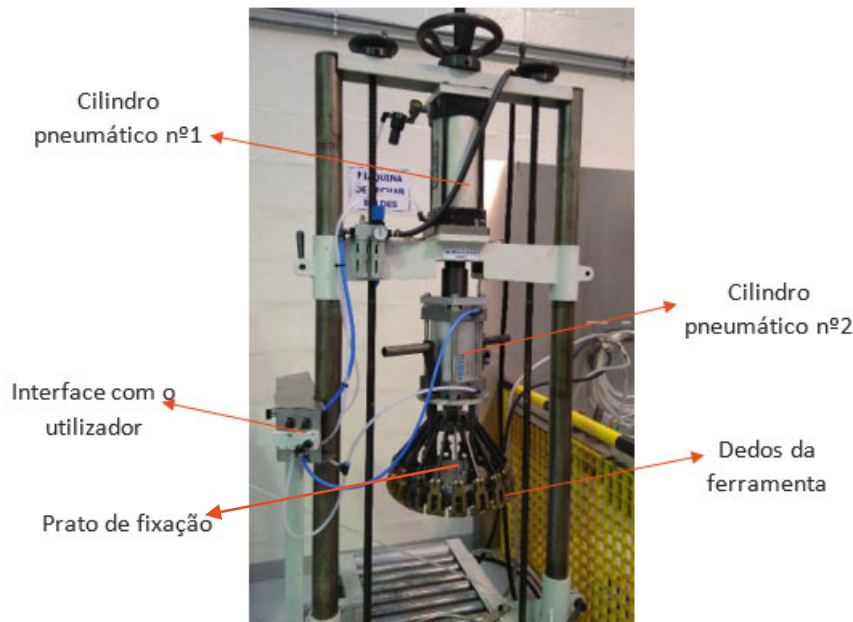


Figura 39 - Máquina de fechar baldes Colep

A Colep tem uma ferramenta própria para o fecho de baldes de garras (Figura 39), que apresenta as seguintes fases:

1. A ferramenta desce, com o auxílio do cilindro pneumático nº 1, até que o seu prato fixe o balde;
2. Os dedos da ferramenta são posteriormente atuados, pelo cilindro pneumático nº 2, onde nos dedos da ferramenta é gerada rotação, fechando assim as garras da embalagem.

A ferramenta tem 18 dedos, que fazem a deformação das 18 garras do tampo. Para que essa deformação ocorra, é necessário que o cilindro pneumático nº 2 seja atuado com uma pressão de 4 bar. A embalagem Colep fechada fica conforme a Figura 40.

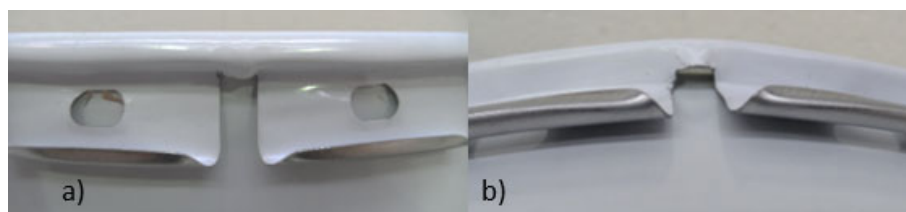


Figura 40 - Aspeto visual da embalagem após o fecho com a ferramenta Colep, a) vista frontal do fecho b) Pormenor entre garras

A Colep vende a ferramenta de fecho aos seus clientes, para esta fazer parte das suas linhas de enchimento. Desta forma, a alteração da ferramenta de fecho iria implicar a

troca de ferramenta nos clientes. Por este motivo, a alteração da ferramenta de fecho não é uma área indicada para realizar alterações.

É também de definir que esta ferramenta foi desenvolvida para conseguir fechar qualquer balde de garras. Com esta adaptação a diferentes sistemas de fecho, elimina-se a necessidade de troca de ferramenta nas linhas de enchimento, sempre que se enche embalagens de produtores diferentes.

3.3.3 Fecho da embalagem

Com esta nova embalagem mais leve, o fecho sofreu alterações, ficando com menor quantidade de material e, por sua vez, mais frágil. Para um melhor conhecimento do sistema de fecho, foi realizado um ensaio de fecho, em que o seu principal objetivo foi verificar as alterações no comportamento desse sistema.

Fecharam-se duas embalagens, o balde atual Colep e o balde alvo deste estudo. O fecho realizado foi semelhante ao efetuado pelo cliente, onde posteriormente se cortou o fecho em dois locais diferentes, entre as garras e sobre uma garra (Figuras 41 e 42). O corte das embalagens foi realizado com o auxílio de uma máquina de corte, destinada para o corte de embalagens.

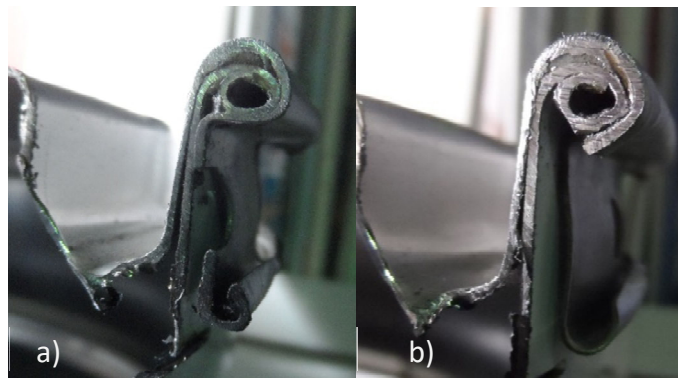


Figura 42 - Recorte na zona de fecho da embalagem Colep, a) Corte a incidir na garra, b) Corte a incidir entre garras

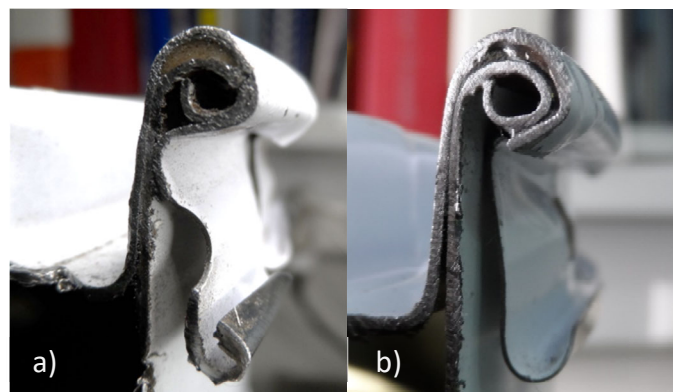


Figura 41 - Recorte na zona de fecho da embalagem alvo deste trabalho, a) Corte a incidir na garra, b) Corte a incidir entre garras

Comparando as duas embalagens (Figuras 41 e 42), é possível verificar que a embalagem Colep tem um rebordo com mais material e este se encontra mais enrolado, o que vai

trazer uma melhor resistência à embalagem. No balde Colep, pode-se observar também que a garra envolve melhor o rebordo, melhorando assim a estanquidade da embalagem e minimizando possíveis situações de tensões instaladas.

É de notar que nas duas embalagens, na zona entre garras, o tampo não envolve corretamente o rebordo, fenómeno esse que é mais notado na embalagem com menor espessura. Deste modo, pode-se concluir que quanto maior for o espaçamento entre garras, pior será o fecho do balde UN.

3.3.4 Estado atual da embalagem

Para avaliar o estado atual da embalagem, após a redução de espessuras, foram realizados ensaios semelhantes aos realizados para obter a certificação de embalagens. As embalagens foram cheias com 98% da sua capacidade e, posteriormente, fechadas com um fecho semelhante ao realizado pelo cliente.

Ensaio de queda sobre o fundo

Os ensaios de queda sobre o fundo são realizados a 1.8 m de altura. A embalagem faz uma queda oblíqua sobre o fundo numa superfície rígida. Após o impacto, a embalagem deforma o fundo, caindo posteriormente, ficando na horizontal e deformando também o tampo.

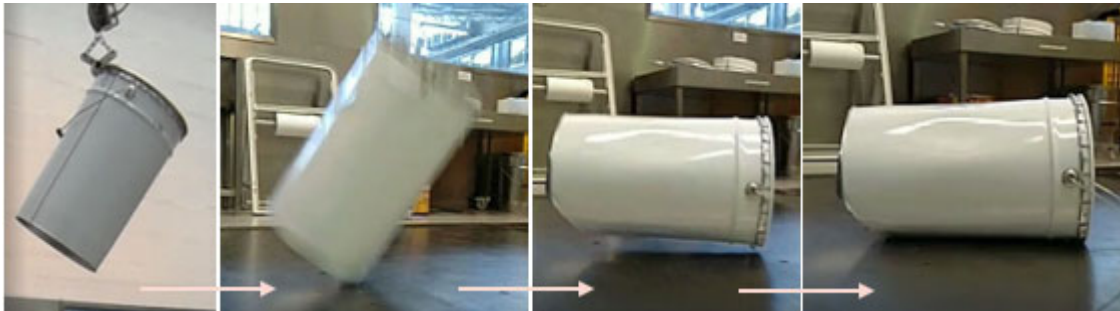


Figura 43 - Sequencia de imagens de um ensaio de queda oblíqua sobre o fundo

Estas embalagens têm uma cravação tripla, a qual dá resistência suficiente às embalagens para ultrapassarem com sucesso os ensaios de queda sobre o fundo. Nenhuma das embalagens verteu no fundo, pelo que se pode concluir que esta área se encontra apropriadamente dimensionada e desenhada para esta embalagem.

É de salientar que, após o equilíbrio de pressões nas embalagens, algumas verteram pelo tampo, como mostra a Figura 44.



Figura 44 - Embalagens após o ensaio de queda oblíqua sobre o fundo

Para uma melhor percepção da falha, foi realizado um corte na zona da fuga de água, onde foi possível observar que o rebordo após o impacto enrola sobre si mesmo, deixando uma folga entre o poliuretano e o rebordo. Desta forma, ocorre a falha.

Ensaio de queda sobre o tampo

Os ensaios de queda sobre o tampo são realizados a 1.8 m de altura. A embalagem faz uma queda oblíqua sobre uma superfície rígida.

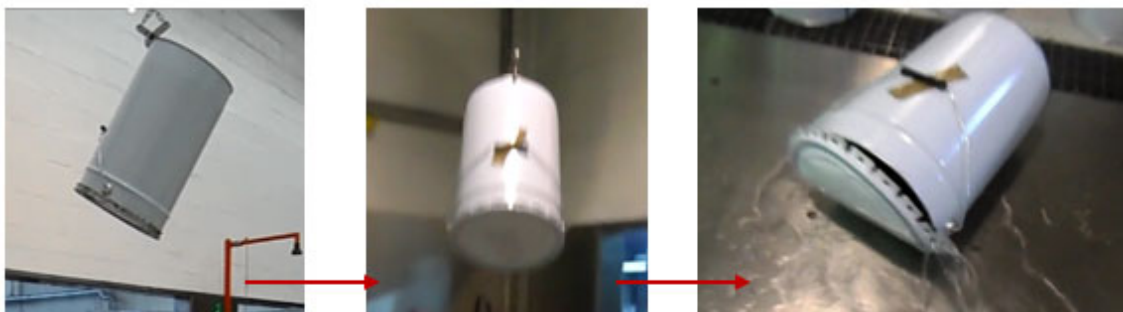


Figura 45 - Sequência de imagens de um ensaio de queda oblíqua sobre o tampo

Neste ensaio, foi possível notar que a embalagem se encontra fragilizada no tampo, pois após a queda, a embalagem abriu. Após o ensaio, foi analisado o balde, onde foi possível verificar que as garras abriram e o balde achatou.

Dos cinco ensaios realizados, todos eles falharam da mesma forma, com a abertura parcial da embalagem pela zona do fecho.

Ensaio de pressão hidráulica

Os ensaios de pressão hidráulica são realizados com a embalagem a 100 kPa, onde esta tem que se manter estanque durante 5 minutos sujeita a essa pressão. Para a realização deste ensaio é usado um manómetro digital para acompanhar a evolução da pressão na embalagem. O ensaio termina quando é detetada visualmente uma fuga na embalagem ou quando a embalagem é estanque com pressão interna de 100 KPa durante 5 minutos.

Todas as embalagens verteram nos ensaios de pressão hidráulica antes de serem atingidos os 100 kPa (Figura 46). Também foi possível observar que embalagens aparentemente iguais apresentam comportamentos diferentes, quando solicitadas da mesma forma. Num caso mais frequente, esta deforma ligeiramente o tampo e o fundo, vertendo sempre pelo intervalo das garras a uma pressão média de 76 kPa.

Por outro lado, menos frequente, existem embalagens que após serem solicitadas com pressão, o painel do tampo começa a subir, até formar uma cúpula. Após ocorrer esta deformação, a embalagem começa a verter uma quantidade significativa de água, ou então o tampo acaba por saltar. Nesta situação, a embalagem verte a uma pressão muito mais baixa.



Figura 46 - Diferentes deformações nos ensaios de pressão hidráulica

3.3.5 Modos de falha da embalagem

Com o decorrer dos anos, tem havido estudos, ensaios, reclamações e *benchmarks* em relação a esta embalagem, o que traz conseqüentemente um elevado conhecimento sobre o comportamento desta nas diferentes situações. Por outro lado, o TC 286 P UN tem vindo a sofrer alterações nas suas especificações e na sua geometria.

Para uma correta interpretação dos dados disponíveis, é importante relacionar a informação sobre o comportamento da embalagem com as especificações à data dos ensaios e estudos realizados (Figura 47).

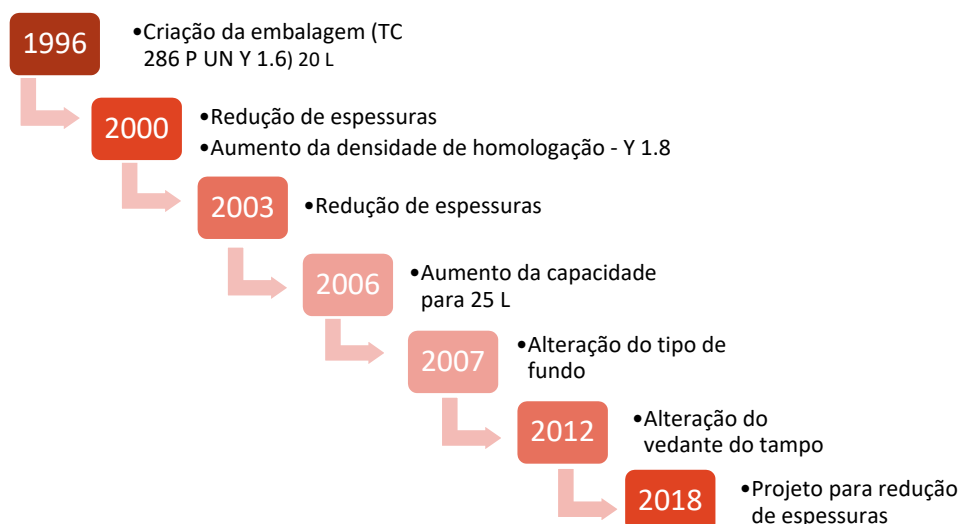


Figura 47 - Diagrama da história do produto TC 286 P UN

Foi reunida a equipa multidisciplinar deste projeto para realizar conjuntamente um diagrama de causa-efeito (Figura 48). Nessa reunião, foram definidas as cinco áreas principais que estão diretamente relacionadas com o desempenho da embalagem nos ensaios para homologação. As áreas selecionadas foram:

- Produção;
- Materiais dos componentes e do corpo;
- Geometria do tampo;
- Geometria do balde;
- Máquina de fecho/sistema de fecho.

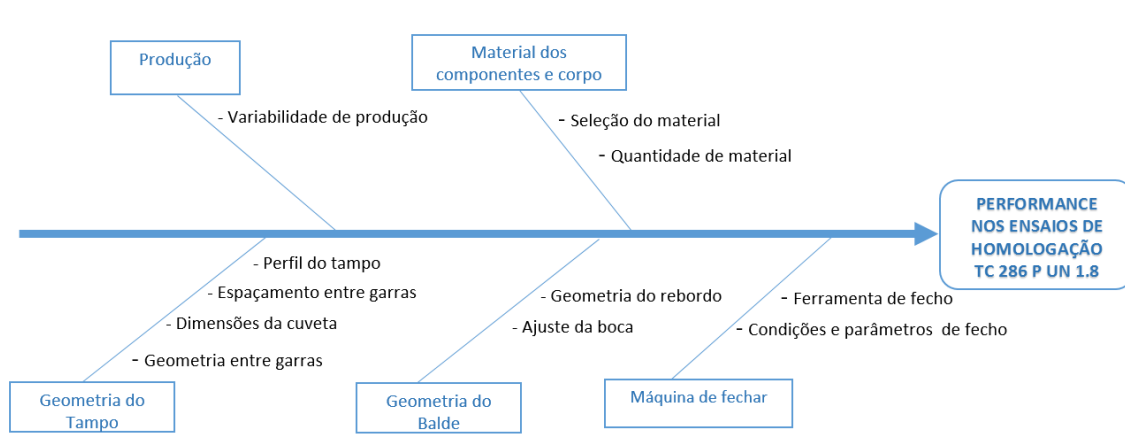


Figura 48 - Diagrama causa efeito para a performance da embalagem nos ensaios para homologação

Após a definição das áreas que afetam o desempenho da embalagem, foi definido pela equipa de trabalho quais as áreas onde atuar. Para definir as áreas, foi usada a matriz de esforço-impacto (Figura 49), do modelo *One Colep*, onde se destacaram as seguintes ações:

- Estudo da geometria do rebordo – a equipa definiu o rebordo como um componente de grande impacto no desempenho da embalagem nos ensaios de queda, e de fácil alteração;
- A geometria das garras e o espaçamento entre garras – foi definido que teria um impacto positivo, não só nos ensaios para homologação, mas também no tempo de abertura do balde. É uma área que exige pouco esforço para a sua melhoria;
- Estudo do painel do tampo - o painel do tampo tem muita influência no comportamento da embalagem no ensaio de pressão hidráulica, mas a sua implementação requer um maior esforço que as restantes soluções;
- Estudo da influência das quantidades de vedante – estudo de muito fácil implementação, mas com pouco impacto no desempenho da embalagem.

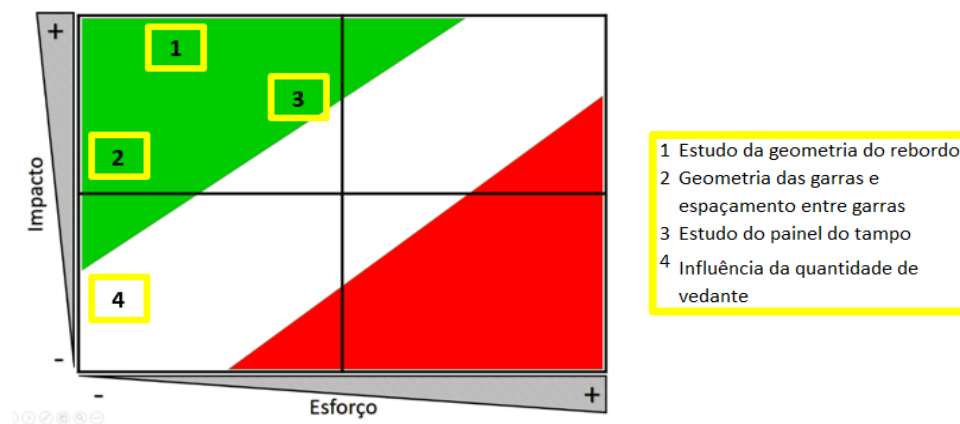


Figura 49 - Matriz de esforço/Impacto do Projeto

3.3.6 Benchmarking

O posicionamento da embalagem Colep, em relação as embalagens da concorrência, torna possível a comparação das diferentes soluções analisando os pontos fortes e fracos, para conseguir culminar as melhores características das embalagens e aproveitar essa informação para o desenvolvimento de novos produtos.

3.3.6.1 Especificações da embalagem

As embalagens têm diferentes especificações, sendo que a densidade estabelecida na homologação é uma das mais importantes nas embalagens certificadas. Este valor vai ditar a possibilidade de a embalagem poder armazenar ou não líquidos com diferentes densidades. Considera-se este valor como um indicativo de desempenho: quanto mais elevado for, melhor a embalagem. Outra especificação importante é a espessura. Quanto mais baixa for a espessura de uma embalagem, maior será a sua competitividade e menor será o seu impacto ambiental. As espessuras das embalagens também são um indicativo de desempenho a nível de *design*. Se uma embalagem com

espessuras menores tem uma homologação igual a uma embalagem com espessuras maiores, significa que a segunda não se encontra otimizada.

Foi realizada uma tabela com as diferentes embalagens que se encontram no mercado (Tabela 17), com as três seguintes variáveis: fabricante, densidade de homologação e capacidade nominal.

Tabela 17 - Análise das diferentes soluções para balde de garras UN

Densidade de Homologação [g/cm ³]	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5
Capacidade [L]						
2.5			●			
5			●			
10			●	●	●	
12			●	● ●		●
15				● ●	●	
20			●	● ● ● ● ●	●	
25			● ●	●		
30						

● Colep
 ● Concorrente A
 ● Concorrente B
 ● Concorrente C
● Concorrente D
 ● Concorrente E
 ● Concorrente F

Nem todas as empresas de embalagens certificadas fabricam baldes para uma capacidade de 25 L, como é possível verificar na Tabela 17. Quanto maior a capacidade, maior a dificuldade de as embalagens serem resistentes aos ensaios necessários para homologação.

Para uma análise comparativa, foram analisadas as espessuras das embalagens de 20 L, visto que todos os fabricantes apresentam essa solução no mercado. Nesta análise é possível verificar que o projeto é bastante ambicioso, pois esta solução terá um dos tempos mais leves do mercado analisado.

Tabela 18 - Espessuras dos diferentes Baldes UN de 20 L de garras do mercado

	Colep Atual	Colep Futuro	A	B	C	D	E	F
Espessura do corpo [mm]	0.38	0.34	0.34	0.35	0.35	0.30	0.32	0.33
Espessura do Fundo [mm]	0.36	0.34	0.37	0.34	0.35	0.32	0.32	0.32
Espessura do Tampo [mm]	0.48	0.43	0.46	0.48	0.48	0.42	0.45	0.49

3.3.6.2 Recomendações de fecho

Como referido anteriormente, os fabricantes de embalagens têm o dever de indicar as instruções de fecho das embalagens aos seus clientes. Desta forma, foram analisadas diferentes recomendações de fecho, para comparação e estudo do rebordo em diferentes soluções.

Em todas as recomendações era considerado um fecho perfeito aquele em que o ângulo α fosse menor que 90° , conforme a Figura 50.

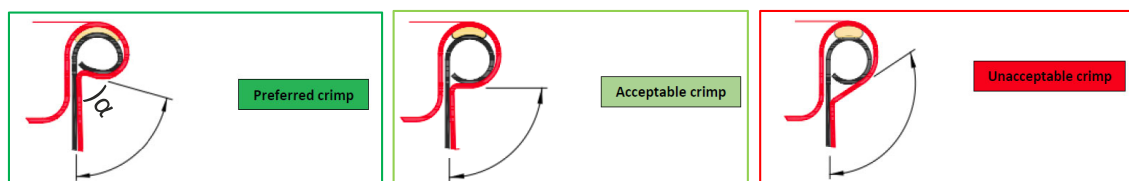


Figura 50 - Recomendações de fecho para baldes de garras, adaptado de (Dulin, 2006)

Nas recomendações de fecho de uma empresa concorrente, para além da recomendação dos valores esperados para o ângulo α , encontra-se especificado que existe uma necessidade de uma inspeção visual ou controlo dimensional para garantir o fecho adequado da embalagem. Essa empresa, também conclui que, sempre que são encontrados fechados incorretos, estes se devem à baixa pressão exercida pela ferramenta de fecho no tampo (Emballator, n.d.).

Na imagem apresentada nas recomendações de fecho, é possível observar que durante o fecho indicado por eles, o rebordo diminui de tamanho, enrolando sobre ele mesmo. Também é possível observar o perfil usado no tampo, assim como a geometria do rebordo.

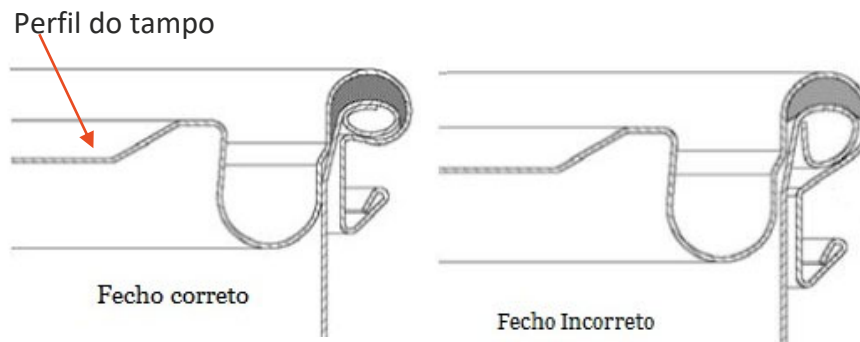


Figura 51 - Instruções de fecho para balde de garras UN (Emballator, n.d.)

Existe uma empresa de embalagens que, para além das recomendações de fecho, tem um procedimento necessário para garantir que o fecho UN se encontra bem realizado (Figura 52) (Dulin, 2006).

1. Colocar o tampo sobre a embalagem de forma a o olho de uma das garras incidir sobre a soldadura da embalagem;
2. Colocar a ferramenta de fecho de tal forma que o olho da garra fique entre os dedos da ferramenta;
3. Fechar a embalagem;
4. Fazer inspeção visual à embalagem já fechada.

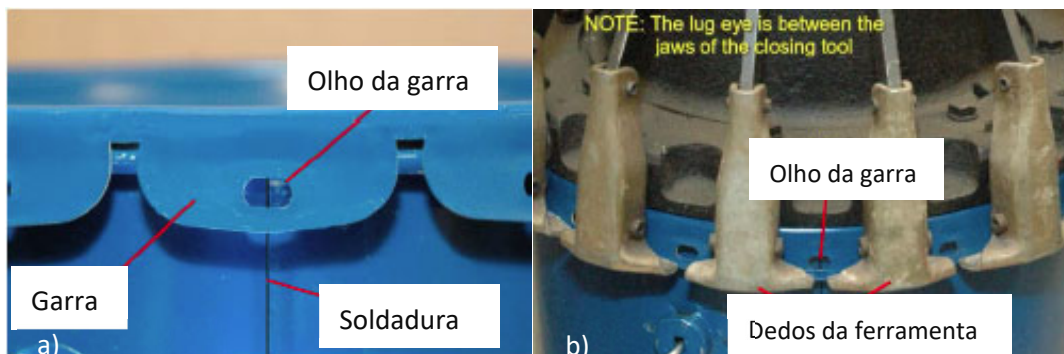


Figura 52 - Instrução de fecho: a) etapa 1, b) etapa 2, adaptado de (Dulin, 2006)

3.3.6.3 Geometria do rebordo

O rebordo faz parte do sistema de fecho da embalagem (Figura 53). Esta parte da embalagem suporta a força de fecho, que deforma as garras da embalagem. Para um bom fecho, o rebordo tem que garantir a sua integridade. Este enrolado é extremamente importante para o desempenho do balde nos ensaios para homologação,

em especial nos ensaios de queda. Durante a queda, este componente tem que garantir o suporte interno do fecho.

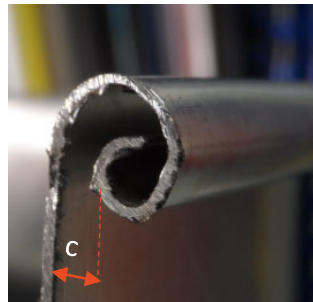


Figura 53 - Rebordo de balde Colep

É de salientar que no ensaio de queda sobre o fundo, após o impacto da embalagem no fundo, esta roda, caindo depois sobre o local de fecho, deformando-o. Desta forma, este componente vai estar sujeito a esforços de diferentes direções, em diferentes ensaios para homologação. Nas empresas concorrentes, pode-se observar diferentes geometrias de rebordo, com diferentes dimensões (Figuras 54 e 55).



Figura 54 - Rebordo dos diferentes concorrentes, a) concorrente A, b) concorrente, c) concorrente C



Figura 55 - Solução de rebordo de fabricante desconhecido

Verifica-se que o rebordo Colep tem um espaçamento muito maior entre o corpo do balde e a zona enrolada da folha (c). Este espaçamento leva a um enfraquecimento do sistema de fecho. Por outro lado, quanto maior for o enrolado e mais encostado ao corpo do balde se encontrar o rebordo, maior será o consumo de matéria-prima.

Na definição deste componente, também é necessário encontrar o equilíbrio entre o mais eficiente e o que levará a um menor consumo de folha-de-flandres.

3.3.6.4 Geometria das garras

A geometria das garras vai influenciar a qualidade de fecho da embalagem, o tempo de abertura da embalagem e o desempenho dos ensaios para homologação. Atualmente, existem no mercado diferentes perfis de garras. O perfil da Colep contém um elevado espaçamento entre as garras, onde nesse espaçamento é possível observar uma geometria retangular. A garra da Colep é furada, para ajudar a abertura do balde com uma chave (Figura 56).



Figura 56 - Perfil da garra do balde Colep atual

Analisando as soluções presentes no mercado, podemos notar que estas têm um menor espaçamento entre as garras. Também é de salientar que todos os intervalos entre garras das diferentes soluções têm geometrias mais arredondadas.



Figura 57 - Diferentes perfis de garras das empresas concorrentes: a) Concorrente A, b) Concorrente B, c) Concorrente C

O furo na garra para ajudar a abertura não está presente em todos os tampos analisados, conforme se pode analisar na Figura 57.

3.3.6.5 Tempo de abertura do balde

O tampo de garras é uma solução desenhada para conter produtos perigosos, garantindo toda a segurança que isso exige. O seu fecho tem que ser robusto, mantendo-se intacto durante o transporte. Essa robustez exigida ao sistema de fecho do balde, não pode dificultar a abertura intencional da embalagem. Assim, a facilidade de abertura da embalagem é um parâmetro decisivo para o seu sucesso. O cliente final poderá rejeitar uma embalagem em função de outra, devido ao seu sistema de fecho.

Durante a abertura de um tampo de garras, há diferentes variáveis que vão levar a diferentes modos de abertura e diferentes tempos de abertura, tais como:

- Número de garras;
- Local de abertura (no furo / no final da garra);

- Posição das garras e do intervalo das garras em relação ao rebordo.

A solução atual do fecho de garras da empresa não facilita a abertura do balde. Após se conseguir um fecho perfeito, a folha que se encontra entre as garras envolve o rebordo. Quando se dá a abertura, esta folha não acompanha as garras, ficando na sua posição de fecho. Assim, faz com que o utilizador tenha que abrir o balde duas vezes, para conseguir retirar a tampa.

Para haver uma comparação com a concorrência, foi cronometrado o tempo de abertura de uma embalagem Colep, e de uma embalagem do concorrente C (Tabela 19) (Figura 58). Para além disso, foram analisadas outras embalagens no que diz respeito ao *design* do tampo.

Tabela 19 - Diferentes características do tampo de garras encontradas no mercado

	Colep	A	B	C
Número de garras	18	20	18	18
Furo nas garras	Com furo	Sem furo	Com furo	Sem furo
Tempo de abertura	2 min 38 s	-	-	49 s

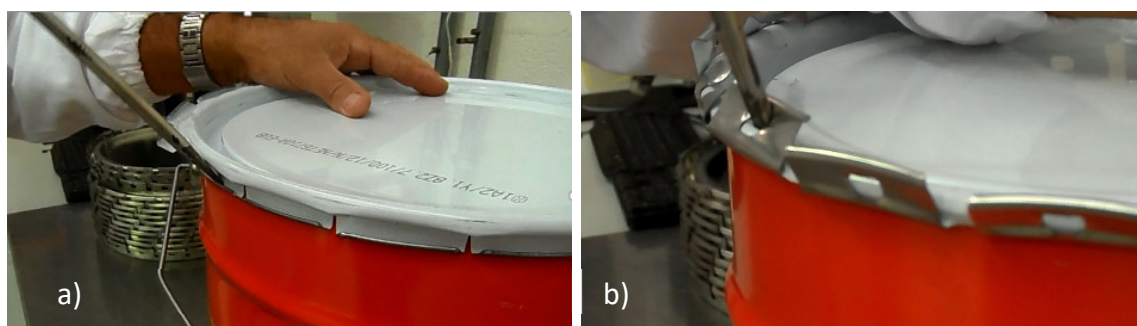


Figura 58 - Abertura de baldes UN. a) Balde do concorrente C, b) Balde da Colep Atual

Após o ensaio, foi verificado que a embalagem atual da Colep tem um tempo de abertura muito superior à do concorrente C, o que indica que a embalagem atual da Colep está em desvantagem competitiva. Para opções sem furo na garra, a parte final da garra tem que ser reforçada, para que esta não deforme durante a abertura do tampo. Apenas o concorrente C tem esse reforço, o que vai tornar a abertura mais fácil para tampos de garras sem furos.

3.3.6.6 Geometria do painel do tampo

A geometria do painel do tampo é um fator que influencia o desempenho dos baldes UN, nomeadamente nos ensaios de queda sobre o tampo, e os ensaios de pressão hidráulica. Para além do desempenho, o painel tem que permitir o empilhamento de baldes cheios, assim como o empilhamento dos tampos entre si. O empilhamento não

é obrigatório, mas torna a embalagem mais competitiva, pois com soluções empilháveis consegue-se um melhor preço no transporte. A solução de painel do tampo Colep permite o empilhamento das embalagens cheias, assim como o empilhamento dos tampos entre si.

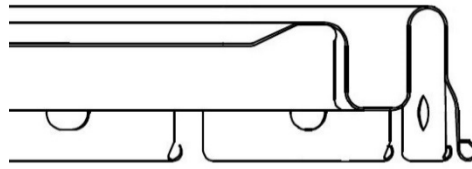


Figura 59 - Perfil do painel do balde de garras UN

O concorrente F apresenta duas soluções para os tampos de garras. São soluções distintas, em que a primeira passa por reforçar o painel do tampo com uma ondulação, e a segunda é uma solução oposta, onde o painel se encontra quase liso.

As duas outras soluções são para embalagens com uma densidade de homologação de 1.8 e uma pressão interna máxima de 100 KPa (Figura 60, 61 e 62).

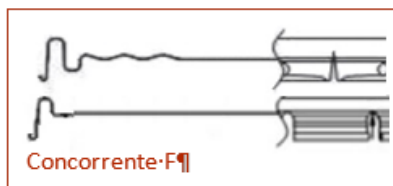


Figura 60 - Esquema do tampo de garras do concorrente F



Figura 61 - Esquema de tampo de garras da Pipeline Packaging (PelinePackaging, n.d.)

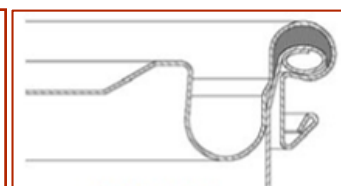


Figura 62 - Corte do fecho do balde de garras da Emballator (Emballator, n.d.)

3.4 Desenvolvimento do novo produto

3.4.1 Estudo do rebordo do balde

O rebordo do balde foi definido como um elemento chave para o sucesso dos ensaios para homologação. Esta área da embalagem tem que ter integridade suficiente para não se deformar demasiado durante o fecho, assim como suportar os esforços a que o fecho está sujeito durante os ensaios UN de queda.

Como foi possível ver anteriormente, no corte realizado no fecho, Figura 42 e Figura 41, o rebordo mantém a sua estrutura, no entanto, o mesmo não acontece nos ensaios UN. A maior sollicitação que o rebordo encontra é no ensaio de queda sobre o tampo, onde este sofre um impacto, reduzindo o seu tamanho. No ensaio de queda sobre o fundo, também sofre uma sollicitação, mas desta vez noutra direção, que também vai fazer com que este reduza de tamanho apenas numa zona muito localizada.

A direção das forças aplicadas no rebordo encontram-se esquematizadas na Figura 63, em que a verde está representada a sollicitação no ensaio de queda sobre o tampo, em

que $\beta=32.2^\circ$, e representado a azul encontra-se a solicitação realizada durante o ensaio de queda sobre o fundo.

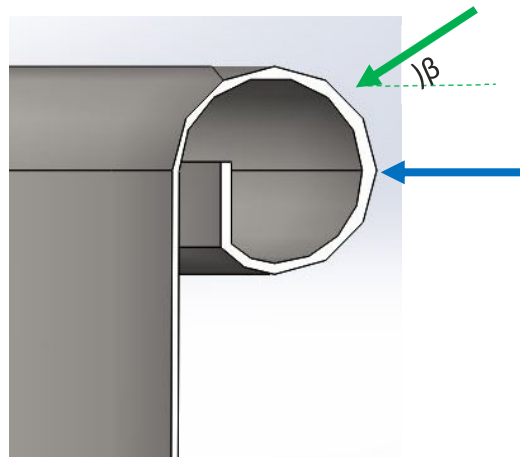


Figura 63 - Rebordo teórico Colep com diferentes solicitações

3.4.1.1 Influência da quantidade de vedante nos ensaios UN

A elevada deformação do rebordo no ensaio de queda oblíqua sobre o fundo, cria um espaçamento entre o rebordo e o vedante. Para evitar a fuga, foi proposto o uso de uma maior quantidade de vedante, de forma a evitar aquela folga.

Para este ensaio foram produzidos dois protótipos, onde foram aplicadas duas camadas de poliuretano na produção. Assim, os tampos com o dobro do vedante foram submetidos ao ensaio de queda oblíqua sobre o fundo, onde estes verteram pelo tampo.

Para verificar se a razão da falha era a mesma, foi cortado na zona de fecho, já após o ensaio, e verificou-se que o rebordo continua a enrolar, criando a folga mesmo com mais vedante (Figura 64).

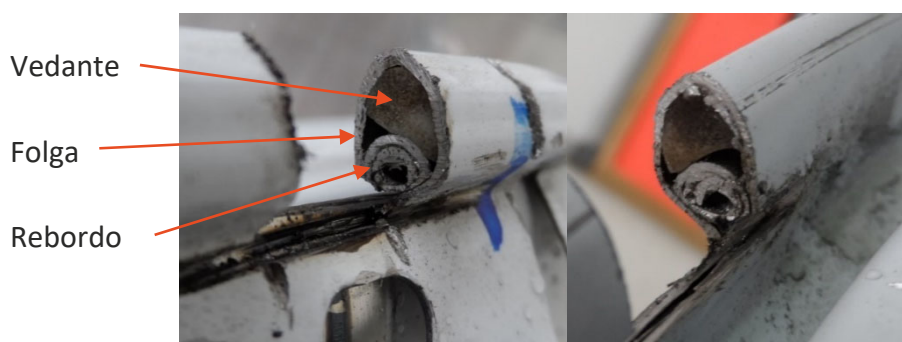


Figura 64 - Corte na zona de fecho deformada por ensaio de queda sobre o fundo

Com este ensaio, fica claro que aumentar a quantidade de vedante não é uma solução para conseguir ultrapassar a falha do tampo no ensaio de queda sobre o fundo. Por outro lado, também é possível concluir que é necessário remodelar a geometria do rebordo de tal forma, que este após as solicitações não enrole sobre si mesmo,

mantendo assim as suas dimensões e não deixando criar estas folgas. Outra solução possível era conseguir que o vedante, neste caso o poliuretano, se adaptasse melhor às deformações. Neste caso, a embalagem necessitava de um vedante com maior flexibilidade para acompanhar a deformação da embalagem.

Entre as duas soluções para resolução do problema, a remodelação do rebordo será a de mais fácil implementação e de menor custo. Desta forma, será esse o caminho, ou seja, definir um rebordo que não enrole durante as solicitações.

3.4.1.2 Simulação de fecho Colep

Para a simulação do fecho foi usado o ABAQUS CAE®, programa de simulação de elementos finitos. O ABAQUS® não possui um sistema rígido de unidades, pelo que os dados de entrada devem ser especificados em unidades congruentes.

Esta simulação por elementos finitos tem como objetivo a compreensão do fecho da embalagem, para assim conseguir eliminar o esmagamento do rebordo durante os ensaios de queda UN.

Foi desenhada uma simplificação da embalagem e da máquina de fecho, para tornar o estudo mais simples. Em 2D foram definidos quatro componentes distintos, o rebordo, a parte exterior do tampo, o poliuretano e a garra da ferramenta (Figura 65).

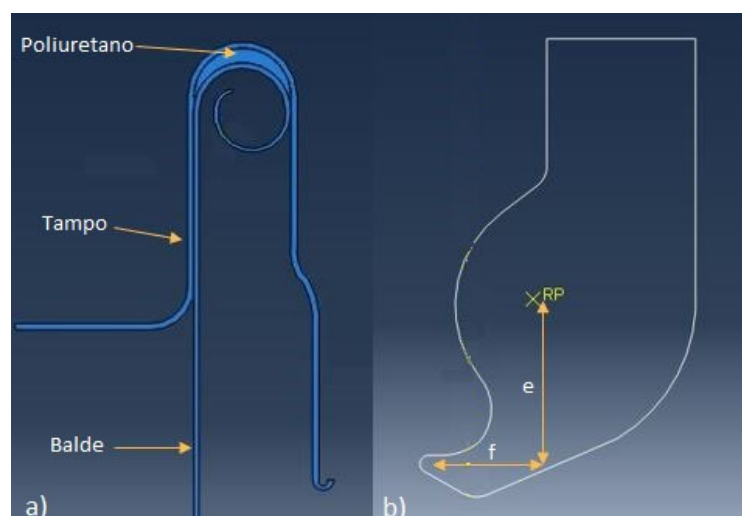


Figura 65 - Componentes usados para estudar o fecho da embalagem. a) Tampo, poliuretano e balde b) Garra da ferramenta

O tampo, o poliuretano e o rebordo do balde foram definidos como sólidos deformáveis, com as suas espessuras correspondentes. A garra da ferramenta foi definida como um elemento rígido não deformável. Na garra da ferramenta, foi definido um ponto de rotação (RP) em relação ao centro do raio da ponta da ferramenta, representado na Figura 65.

Nestes componentes, foram definidas as propriedades do material obtidas no ensaio de tração anteriormente realizado, no sentido da laminagem. Apesar da folha-de-flandres ser um material anisotrópico, apenas serão utilizados os valores no sentido da

laminagem, obtidos pelos ensaios de tração realizados, com o objetivo de simplificar a simulação.

Tabela 20 Propriedades usadas para a simulação de fecho

	Folha-de-flandres	Poliuretano	Unidades
Tensão de cedência	275	-	MPa
Módulo de elasticidade	16	6	GPa
Coefficiente de Poisson	0.3	0.46	-

Para simular o momento de fecho, foi definido o ponto de fixação (RP) da ferramenta, representado na Figura 65, com uma rotação de 1 radiano por segundo.

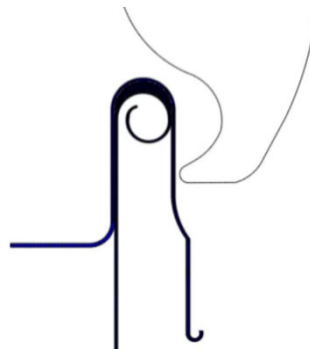


Figura 66 - *Assembly* dos componentes para simulação do fecho

Como se pode observar na simulação, na realidade a ferramenta garante um fecho aceitável, formando-se um ângulo α de aproximadamente 90° . Também é possível verificar que o rebordo, durante o fecho, enrola sobre si mesmo, terminando a rotação apenas no final do fecho (Figura 67). Esta geometria do rebordo não permite que o rebordo tenha integridade para suportar outras solicitações sem que este enrole.

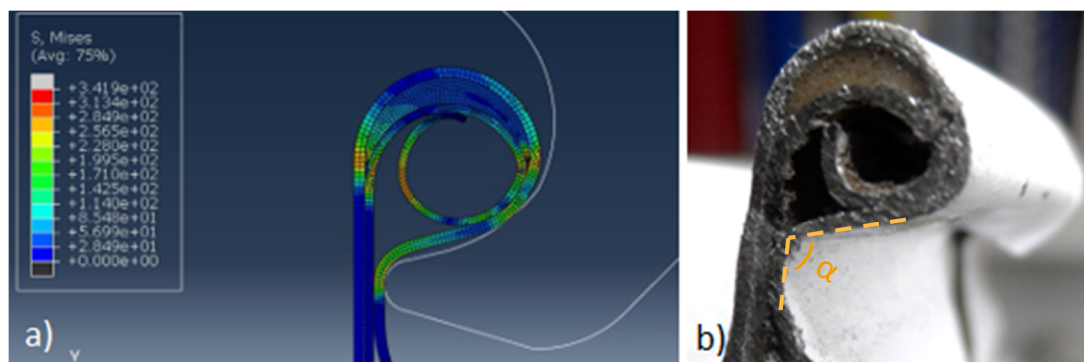


Figura 67 – a) Solução do fecho do balde Colep, b) Corte na zona de fecho de uma embalagem colep

3.4.1.3 Análise de possíveis designs para o rebordo

Após se ter chegado à conclusão anterior, foi reunida a equipa onde foram apresentadas diferentes soluções possíveis para o rebordo. Essas sugestões foram todas anotadas para posterior análise. As soluções foram definidas com diferentes conceitos e focos.

Solução A

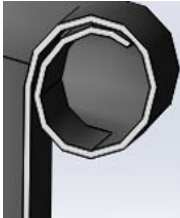


Figura 68 - Solução A para o rebordo

Esta solução foi definida com o objetivo de reforçar o rebordo com mais material, ficando a zona interior do rebordo com duas camadas de folha, o que equivale a 0.68 mm de espessura. Também foi definido que nesta solução, o rebordo deveria estar encostado à parede do balde.

Esta solução não impede que o rebordo enrole sobre si mesmo, mas espera-se que tendo mais material, este não enrole tanto, deixando menos folga.

Solução B

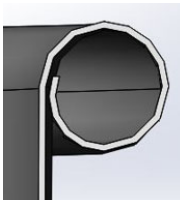


Figura 69 - Solução B para o rebordo

Nesta solução, apenas se pensou em encostar o final do rebordo à parede do balde, conseguindo assim uma maior resistência que o rebordo atual, mas sem o inconveniente de um maior consumo de folha (Figura 69). Esta solução é de fácil implementação, apesar de não eliminar também o problema das quedas.

Solução C

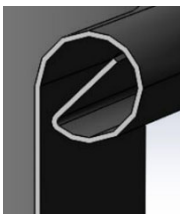


Figura 70 - Solução C para o rebordo

Esta solução foi pensada com o objetivo de travar completamente o enrolamento do rebordo durante as solicitações. Por outro lado, o final reto tem como objetivo dar resistência ao rebordo durante as solicitações nas diferentes direções (Figura 70). Esta solução levará a um maior consumo de folha, e também será necessária uma adaptação no processo de fabrico.

Solução D



Figura 71 - Solução D para o rebordo

Esta solução tem como objetivo aumentar o rebordo nas áreas que sofrem impacto, e diminuir a área que não está exposta a essas solicitações. Também foi pensado inclinar o final do balde, ficando este mais cónico junto ao topo superior, para melhorar o fecho. A folha envolverá melhor rebordo. Por outro lado, este *design* levaria a uma alteração no tampo, para este poder fechar a embalagem.

Todas as soluções apresentadas possuem vantagens e desvantagens. Foi definido que se escolheria a melhor solução, para posteriormente simular o seu fecho. Foram então definidos quatro fatores de decisão para comparar as diferentes soluções, sendo eles:

- Não aumentar significativamente o consumo de matéria-prima;
- Não enrolar sempre que solicitado;
- Fácil produção;
- Manter as dimensões exteriores, para encaixar corretamente no tampo.

Foi realizada a Tabela 21, onde é possível observar que a solução com menos inconvenientes será a solução C.

Tabela 21 - Tabela com diferentes vantagens e desvantagens das soluções para o novo rebordo

	Solução A	Solução B	Solução C	Solução D
Consumo de folha	Elevado	Baixo	Normal	Normal
Comportamento as solicitações	Intermédio	Mau	Bom	Bom
Facilidade de produção	Médio	Fácil	Médio	Difícil
Encaixe no tampo	Possível	Possível	Possível	Impossível

3.4.1.4 Simulação de fecho com solução proposta

Ao realizar uma simulação de fecho com este novo rebordo, semelhante à simulação anteriormente realizada, será possível a visualização da posição final no fecho com rebordo Solução C.

Para a realização desta simulação, foi usada a base da simulação do fecho do rebordo Colep, onde apenas foi modificada a geometria do rebordo para obter resultados comparáveis.



Figura 72 - Assembly dos componentes para simulação do fecho com solução C

A simulação realizada, para prever o comportamento deste rebordo no fecho, demonstra que a modificação traz ao fecho uma maior estabilidade. Esta estabilidade é conseguida, pois a geometria deste componente limita a sua rotação durante o fecho.

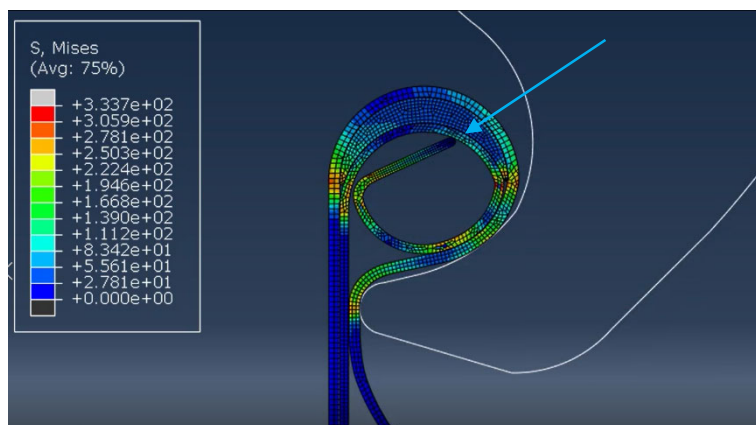


Figura 73 – Solução da simulação do fecho com a solução C para o rebordo

É de salientar que, quando fechado, a zona final do rebordo não cria tensões na folha, as quais poderiam levar a um mau fecho (seta azul, Figura 73). Com isto, serão criados protótipos desta solução para validação de resultados.

3.4.2 Estudo da geometria das garras

A geometria das garras tem uma grande influência na abertura do balde e, consequentemente, no seu fecho (Figura 74). Assim, a sua alteração poderá melhorar o fecho da embalagem.

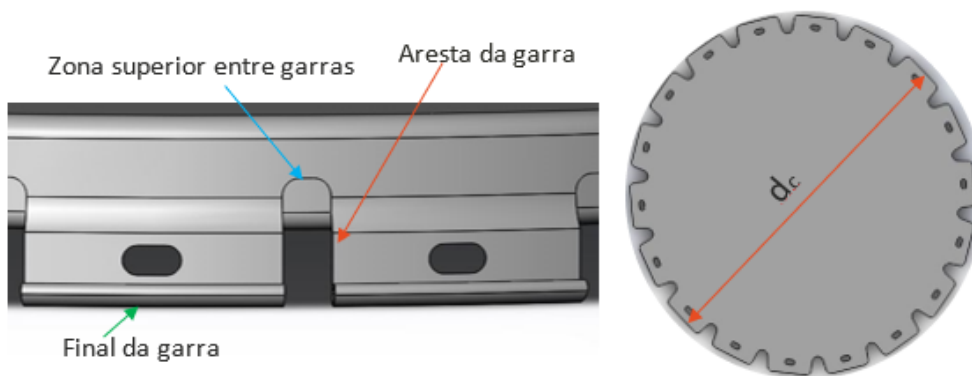


Figura 74 - Esquema da composição de uma garra

A geometria das garras é definida na primeira operação de fabrico do tampo, no corte de folha por punção. Nesta etapa, a linha é alimentada com folha já previamente cortada, com dimensões específicas para manter o desperdício em valores mínimos. Como produto intermédio, resulta um disco com a geometria das garras. Este disco que contem o perfil de corte segue posteriormente para a estampagem onde o tampo adquire a sua geometria final.

A realização de protótipos é de fácil implementação. Como na linha de produção de tampos UN a operação de corte é separada da estampagem, é possível fabricar

protótipos cortando previamente o disco que contém a geometria das garras. Para ser possível realizar protótipos por este método, é necessário que o diâmetro de corte do disco com o perfil de corte seja igual, para que seja possível a estampagem com a ferramenta atual da Colep.

3.4.2.1 Requisitos para geometria das garras

O desenvolvimento de novas soluções para a geometria das garras, tem que ter como base a melhoria de desempenho do balde nos ensaios necessários para a homologação, e a melhor interface da embalagem com o utilizador final. Foram definidos aspetos a considerar na hora de desenvolver novas geometrias:

- Forma que facilite a abertura da embalagem, reduzindo o tempo de abertura;
- Maximizar o contacto das garras com o balde, para melhor envolvência da embalagem;
- Garantir um bom fecho, não deixando o rebordo exposto;
- Conservar a integridade do tampo após a abertura, para garantir a segurança do seu utilizador;
- Bom aspeto visual da embalagem fechada.

3.4.2.2 Possíveis soluções para a geometria das garras

Solução A-garras

A solução A foi desenvolvida para eliminar a geometria plana na zona superior entre garras. Com esse objetivo, a zona superior entre garras foi arredondada, criando depois uma inclinação na aresta das garras. Devido à inclinação da aresta da garra, o final da garra será mais pequeno (Figura 75). Com esta solução, é esperada uma melhoria da abertura do tampo, eliminando assim a folha entre garras que se envolve no rebordo. Em sentido contrário, esta geometria redonda pode levar a fissuras na zona superior entre garras, no momento da abertura.



Figura 75 - Pormenor do esquema do perfil de corte do tampo da solução A

Solução B-garras

A solução B foi desenhada com o mesmo conceito que a solução A, acrescentando uma diferença geométrica que tem como objetivo impedir que a zona superior entre garras desenvolva fissuras com as tensões criadas pela abertura (Figura 76).



Figura 76 - Pormenor do esquema do perfil de corte do tampo da solução B

Solução C- garras

Esta solução foi desenhada para que as garras do tampo preencham o maior diâmetro possível no fecho, para garantir uma maior envolvência do balde nos ensaios de queda. Assim, foi reduzido o diâmetro da zona superior entre garras, e foi eliminada toda a inclinação da aresta da garra (Figura 77).



Figura 77 - Pormenor do esquema do perfil de corte do tampo da solução C

Solução D-garras

Esta solução foi criada com o mesmo propósito que a solução B, tendo como diferença a configuração da zona superior entre garras. Aqui encontra-se uma geometria oval (Figura 78), para que após a estampagem, o excesso de material em forma de bico se encontre muito próximo do rebordo, evitando assim as fissuras com maior eficácia. Esta solução, apesar de garantir uma menor folga no fecho junto ao rebordo, pode vir a desenvolver problemas de abertura do tampo se o excesso de material se envolver no rebordo.



Figura 78 - Pormenor do esquema do perfil de corte do tampo da solução D

Solução E-garras

A solução E vai de encontro à solução A, mas desenhada de forma a garantir que após a estampagem não exista espaço na zona superior entre garras (Figura 79). Esta solução vem para tentar evitar qualquer fuga que possa existir nesse espaço.



Figura 79 - Pormenor do esquema do perfil de corte do tampo da solução E.

3.4.3 Estudo do painel do tampo

A melhoria do painel do tampo é essencial para a aprovação da embalagem nos ensaios de pressão hidráulica. Quando solicitada com uma pressão interna de 1 bar, esta tem dois comportamentos distintos: ou o painel do tampo levanta, provocando a fuga de água, ou o painel não sofre deformações excessivas, conservando assim o fecho, como já demonstrado anteriormente.

A razão pela qual há diferentes comportamentos em tampos aparentemente iguais é uma incógnita. A razão para o tampo ter maiores deformações durante o ensaio de pressão hidráulica pode dever-se às diferenças nas propriedades da folha-de-flandres, ou nas diferenças geométricas entre tampos. Mesmo que a causa deste fenómeno seja a variabilidade, tanto da geometria como da matéria-prima, o ideal é conseguir uma geometria do painel tal, que a embalagem tenha um comportamento constante.

Inicialmente, foi efetuada uma análise de elementos finitos recorrendo ao *software* ABAQUS® à situação atual do tampo, para posterior comparação com as restantes soluções. Para uma melhor compreensão o painel do tampo foi dividido em quatro diferentes partes representadas na Figura 80.

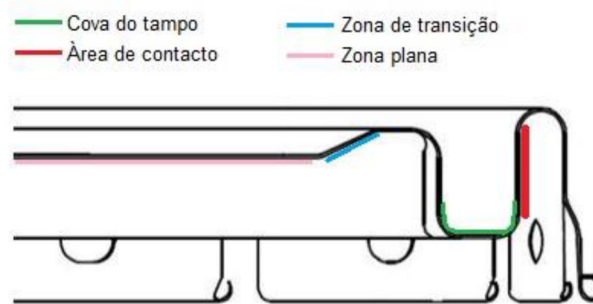


Figura 80 - Representação esquemática das diferentes áreas do painel do tampo

3.4.3.1 Simulação do painel atual do tampo

A simulação de pressão hidráulica foi realizada através do *software* de elementos finitos ABAQUS® CAE, contemplando os seguintes passos:

- Desenho do componente;
- Definição de propriedades do material;
- Definição de contactos;
- Criação de malhas;

- Análise de resultados.

Inicialmente, foi desenhado um único componente que representa a embalagem fechada, onde a geometria do fecho ficou conforme a Figura 81. A peça foi definida com estrutura *shell* no ABAQUS® CAE. Esta análise apenas pretende verificar o comportamento do tampo, pelo que foram apenas desenhados os pormenores do painel do tampo. Ao simplificar a geometria da embalagem, é possível realizar um estudo numérico mais simples.

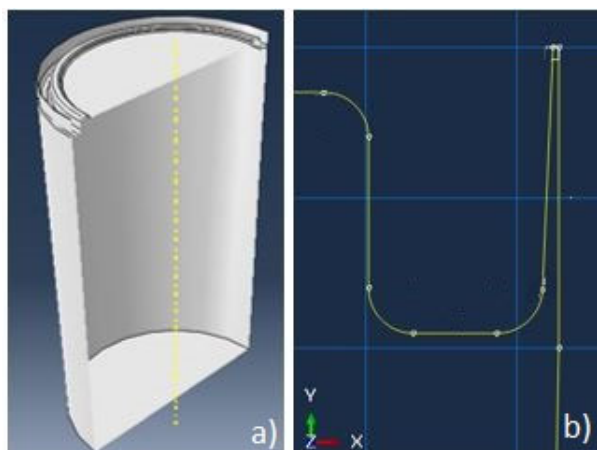


Figura 81 - a) Corte da parte definida para estudo da pressão hidráulica, b) solução usada para a união do tampo com o corpo

As características do material foram definidas segundo os resultados obtidos nos ensaios de tração previamente realizados à folha-de-flandres. O material em estudo apresenta anisotropia, não tendo esta sido considerada, como forma de simplificar o estudo. Como tal, foi definido que para resolução desta simulação numérica se usariam os resultados do provete que obteve o módulo de elasticidade mais baixo. Este valor encontra-se num provete cortado a 90 graus relativamente ao sentido da laminagem (Tabela 22).

Ao definir as propriedades, é necessário ter em atenção que o ABAQUS® CAE não possui um sistema rígido de unidades, pelo que os dados de entrada devem ser especificados em unidades congruentes.

Tabela 22 - Propriedades usadas na simulação da pressão hidráulica no balde Colep

Propriedade	Valor	Unidades
Módulo de elasticidade	8.3	GPa
Coefficiente de Poisson	0.3	-

Como no ensaio de pressão hidráulica o tampo sofre deformações plásticas, o material do componente foi definido como não linear. Para esta definição, foi usada a curva do ensaio de tração do provete selecionado (proвете 10), representado na Figura 82.

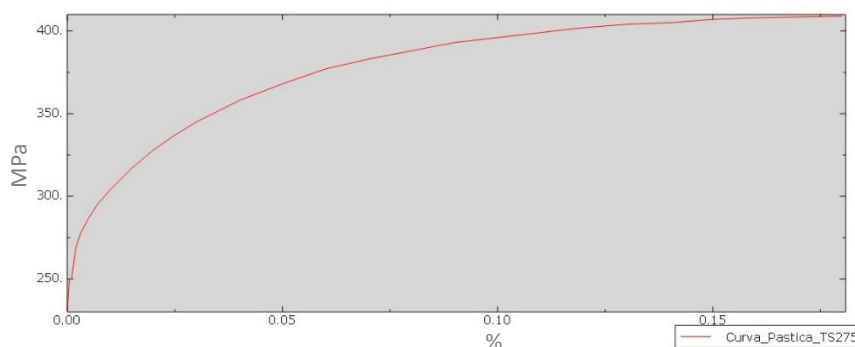


Figura 82 - Valores usados para definir as propriedades não lineares (tensão/deformação) do material

Foi definido por todo o componente uma pressão de 0.1 MPa. O fundo do balde foi definido como a zona fixa da embalagem, visto que a deformação do fundo não é uma área de estudo (Figura 83).

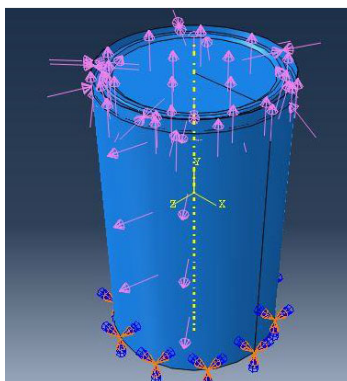


Figura 83 - Definição das condições fronteira da embalagem

Para definição da malha, foi definido que esta seria do tipo triangular, por se tratar de um componente *shell* com geometrias complexas. Foram aplicadas malhas mais finas na zona onde o estudo deve ser mais pormenorizado. As restantes zonas têm uma malha grosseira. Para análise dos resultados, são usados os valores de deslocamento do painel do tampo, assim como as tensões de *Von Mises* provocadas pela pressão interna na embalagem.

Tabela 23 - Resultados Obtidos na simulação de pressão interna na embalagem Colep

	Tensão Máxima [MPa]	Deslocamento máximo [mm]
Embalagem Colep	367	27.76

Nos resultados da simulação da embalagem simplificada com o painel do tampo Colep, a embalagem apresenta uma elevada deformação na cova do tampo. Essa deformação vem minimizar a performance da embalagem nos ensaios de pressão hidráulica (Figura 84).

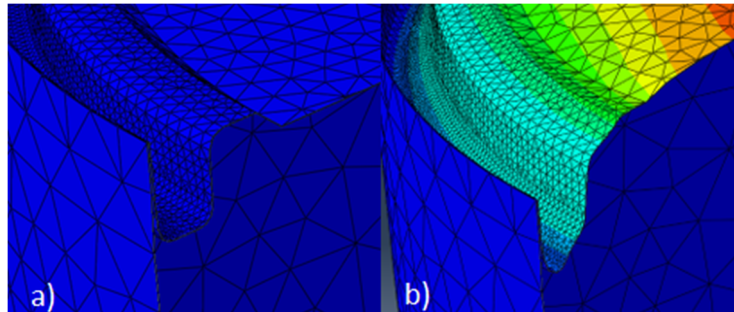


Figura 84 - Deformação da cova do tampo no ensaio de pressão hidráulica

Para além deste fenómeno, é possível verificar a criação de deformações na zona de transição do painel do tampo. Essas deformações são visíveis num ensaio prático de pressão hidráulica (Figura 46). Após a criação destas deformações, a tensão na cova do tampo aumenta, dando-se assim o seu deslocamento no sentido da pressão. (Figuras 85 e 86).

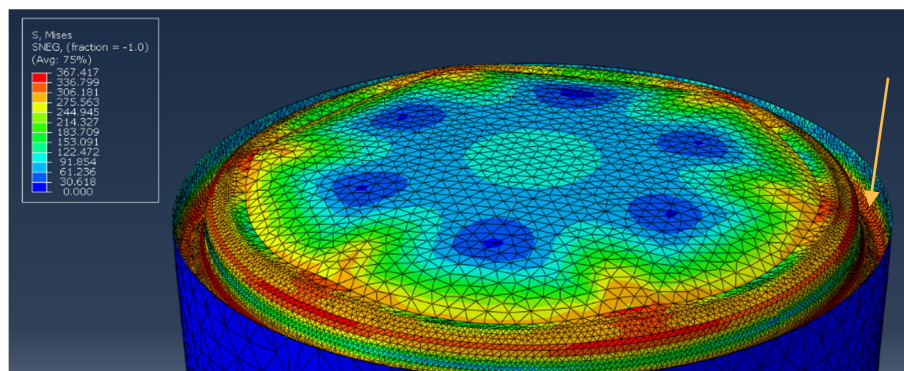


Figura 85 - Simulação do painel do tampo Colep à pressão interna (tensões de Von Mises)

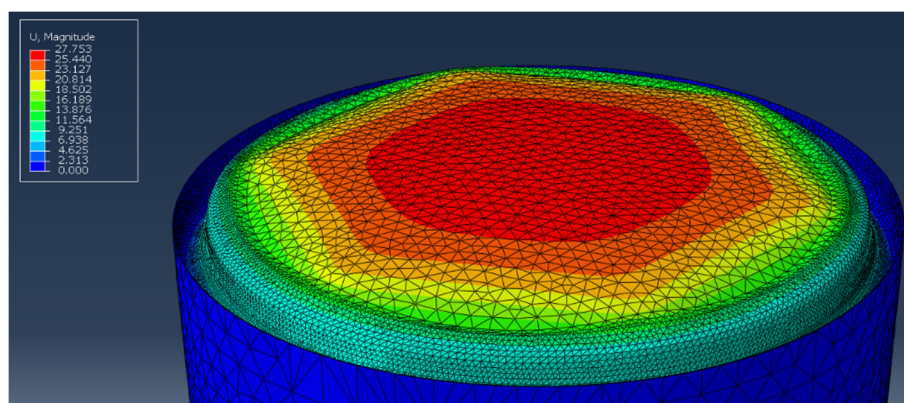
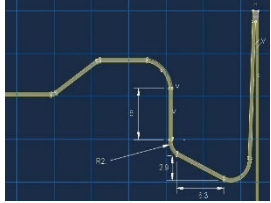
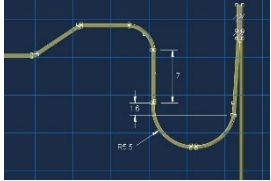
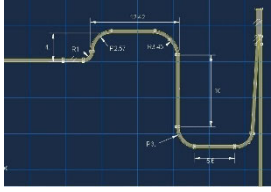
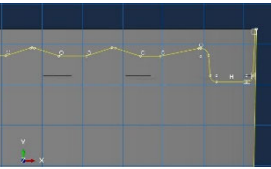


Figura 86 - Simulação do painel do tampo Colep à pressão interna (deslocamento)

3.4.3.2 Sugestões de alterações

Foi reunida a equipa de trabalho onde foram pensadas diferentes alterações que poderão levar a que o tampo tenha um melhor comportamento. Cada uma das propostas foi devidamente justificada.

Tabela 24 - Diferentes sugestões de geometria para painel do tampo

Solução	Justificação	Esquema
A	Aumentar a área de contacto da parede do balde com no tampo; Criar tensões na direção da parede do balde para que a área de contacto não diminua.	
B	Diminuir a área paralela à parede do balde na cova do perfil do tampo; Equilibrar pressões na cova do tampo, evitando assim o deslocamento desta zona.	
C	Acentuar a zona de transição, para evitar que esta também deforme em conjunto com a zona plana, não propagando assim a deformação à cova do tampo.	
D	Reforçar o painel do tampo com uma ondulação reduzida, para evitar que este deforme excessivamente, levando depois ao levantamento de todo o tampo; Diminuição da cova do tampo, para compensar o consumo de folha.	

3.4.3.3 Simulação das diferentes soluções

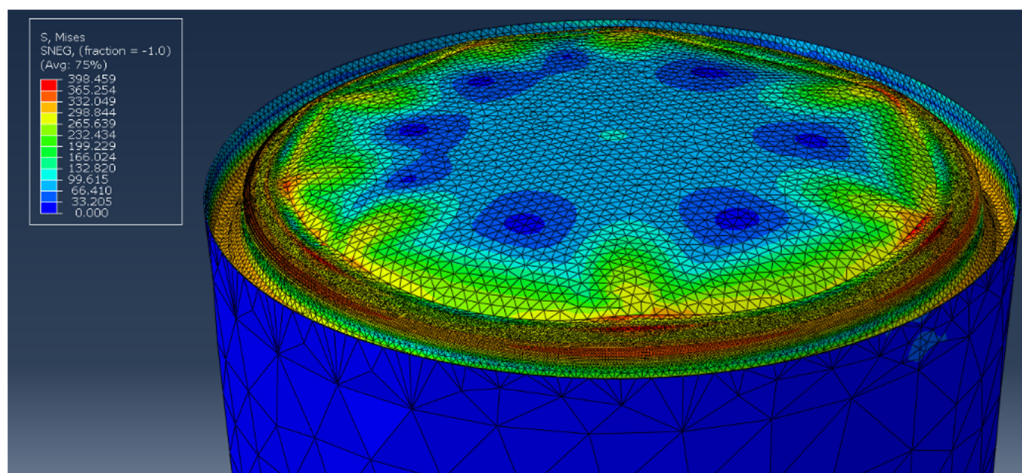
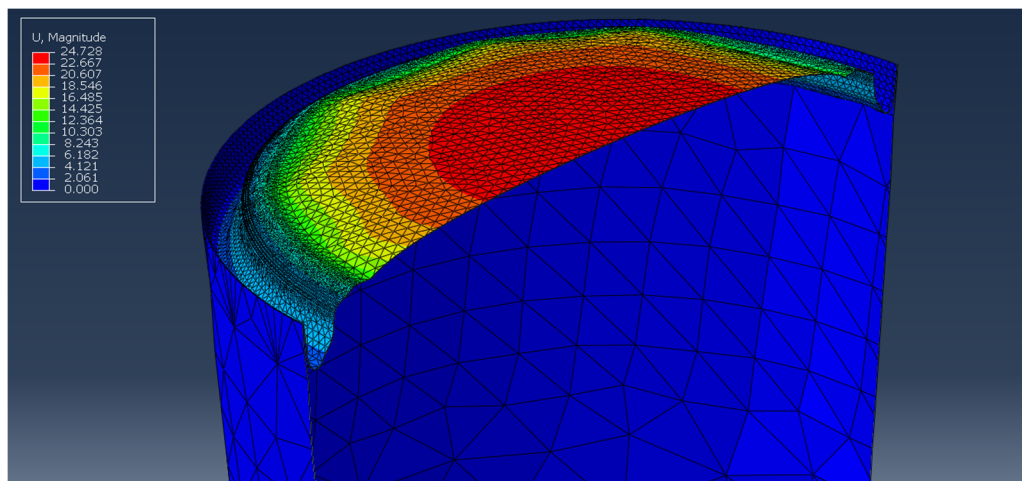
Para uma comparação com a solução atual da Colep, foram realizadas simulações nas soluções propostas. Para a comparação de soluções, é necessário que determinados parâmetros da simulação sejam iguais. Para tal, foram definidos como parâmetros *standard* todas as variáveis da simulação numérica, à exceção da geometria do componente e a malha, pois esta está diretamente ligada à geometria do perfil do tampo. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 25.

Tabela 25 - Tabela resumo dos resultados obtidos por simulação da pressão hidráulica

Solução	Tensão Máxima [MPa]	Deslocamento máximo [mm]
A	398.45	24.72
B	369.5	28.35
C	396.1	30.38
D	385.4	24.53

Solução A

A *solução A* foi desenhada já com a deformação típica do painel do tampo da Colep. Esta geometria tem como objetivo aumentar a área de contacto. Durante a simulação da pressão hidráulica esta área não diminui, mas a cova do tampo sofreu deformação plástica.

Figura 87 - Simulação da *solução A* solicitada com pressão interna (tensões de Von Mises)Figura 88 - Simulação da *Solução A* solicitada com pressão interna (deslocamento)

Esta solução apresenta o comportamento esperado à pressão interna. A sua deformação na cova do tampo não diminui a elevada área de contacto, pelo que esta solução poderá ser implementada numa embalagem.

Solução B

A solução B não tem um elevado impacto no desempenho da embalagem à pressão hidráulica. O seu comportamento é muito semelhante à solução Colep. Apesar de a tensão presente na embalagem ser a mais baixa, esta apresenta uma elevada deformação. Com isto, pode-se concluir que esta solução não é benéfica para travar a deformação do painel do tampo, quando sujeito à pressão.

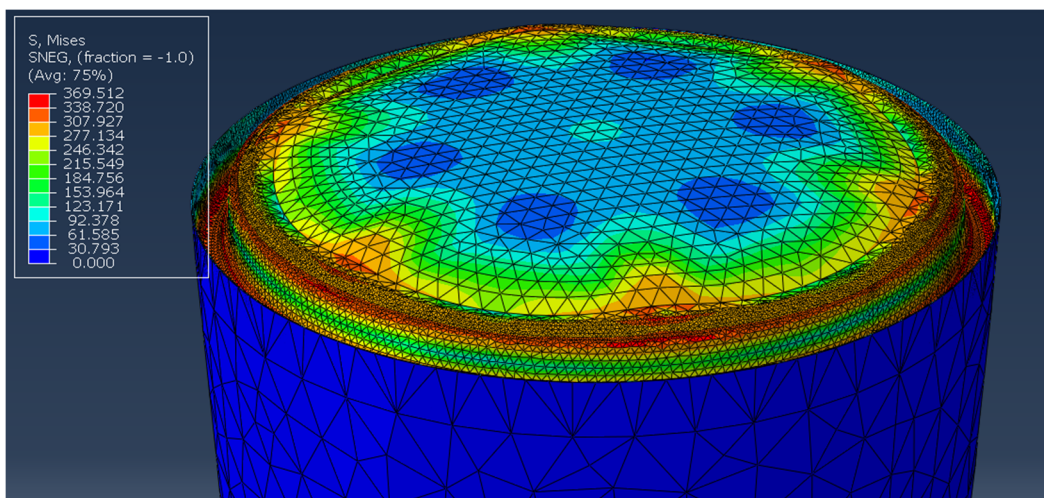


Figura 88 - Simulação da *solução B* solicitada com pressão interna (tensões de Von Mises)

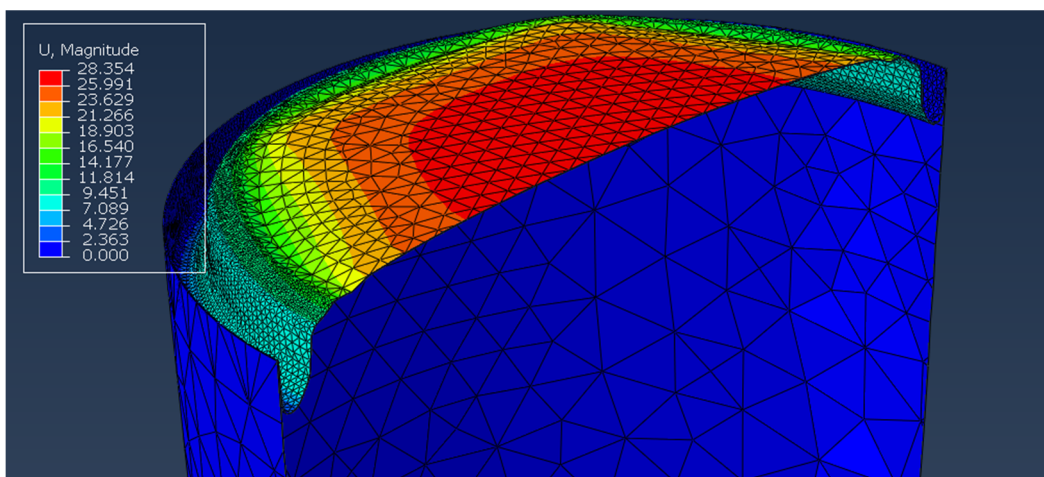


Figura 87 - Simulação da *Solução B* solicitada com pressão interna (deslocamento)

Solução C

A *solução C* tem a zona de transição do painel do tampo mais acentuada. Esta acentuação foi desenhada para travar as deformações que são visíveis na zona plana e na zona da transição do painel do tampo.

A aplicação desta alteração veio aumentar o número de deformações na zona plana e na zona de transição, mas, por sua vez, as deformações não são tão acentuadas como as encontradas no tampo Colep, neste local.

Nesta simulação também é possível observar que a cova do tampo sofre elevadas deformações. Estas deformações são muito negativas para a *performance* da embalagem, como já referido anteriormente (Figura e 92).

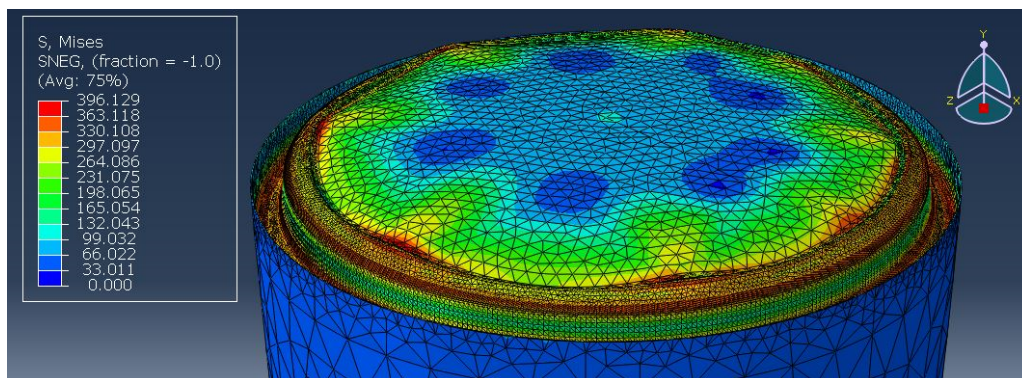


Figura 91 - Simulação da solução C solicitada com pressão interna (tensões de Von Mises)

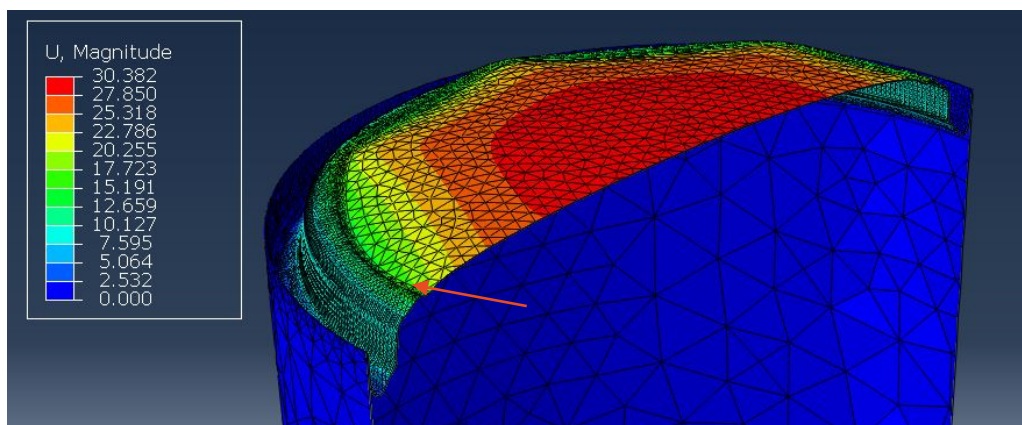


Figura 92 - Simulação da Solução C solicitada com pressão interna (deslocamento)

A *solução C* apresenta assim uma pior *performance* à pressão interna, comparada com a solução atual da Colep. Desta forma, esta solução não é indicada para esta embalagem.

Solução D

A *solução D* tem a zona plana com canais para reforçar o painel, não formando assim deformações excessivas. Para que com esta solução não aumente o consumo de folha, foi diminuída a profundidade da depressão no tampo.

A aplicação desta solução veio eliminar as elevadas deformações que estão presentes no balde Colep, na zona de transição e na zona plana. A deformação deste painel é

menor e mais homogénea (Figura 90). Em relação à depressão do painel do tampo, é possível observar na Figura 89 que esta sofre deformação. Esta deformação é menor que a deformação do painel do tampo Colep.

Assim, pode-se concluir que o reforço da zona plana com canais, ajuda a diminuir a deformação na depressão do tampo durante o ensaio de pressão hidráulica.

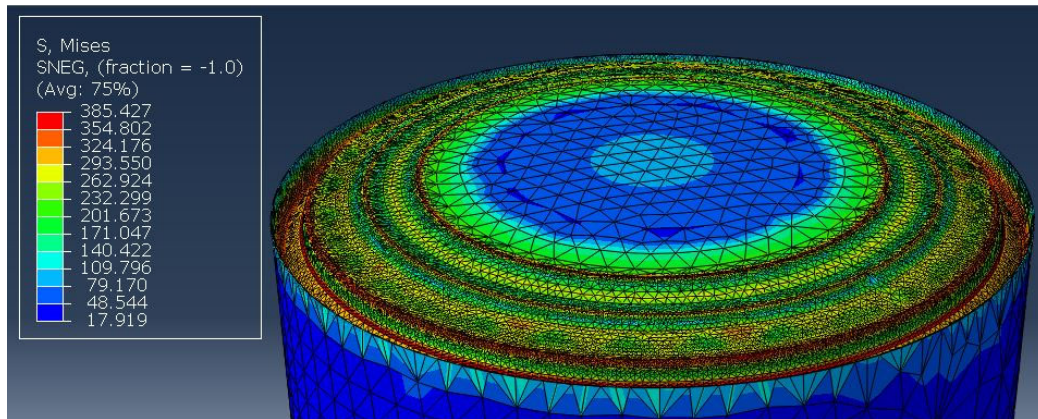


Figura 90 - Simulação da Solução D solicitada com pressão interna (tensões de Von Mises)

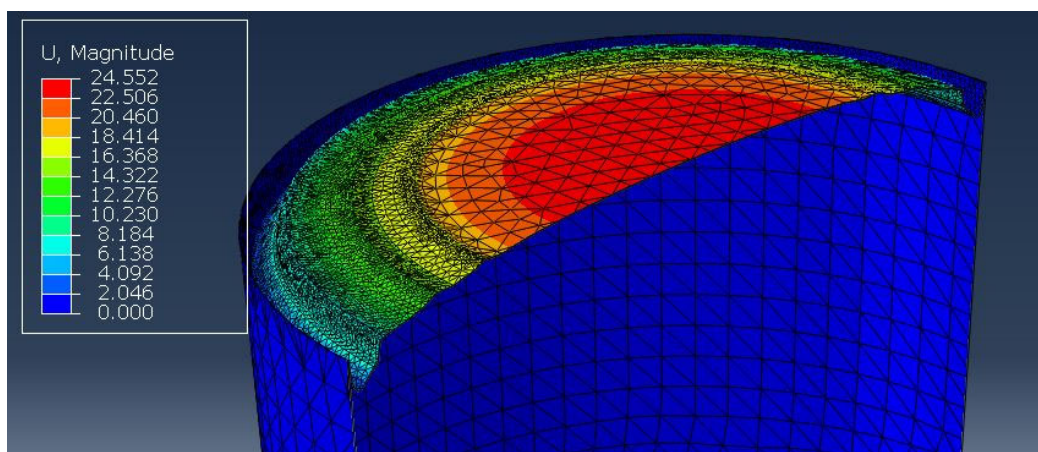


Figura 89 - Simulação da Solução D solicitada com pressão interna (deslocamento)

3.5 Implementação do protótipo

A implementação da nova embalagem foi realizada em diferentes etapas, para avaliar o impacto das diferentes soluções e, numa fase final, foram todas elas implementadas conjuntamente.

3.5.1 Produção de um novo rebordo

O rebordo atual da Colep é realizado em duas operações, após a expansão do balde. Numa primeira fase, é formado um pequeno enrolado, denominado de ameaço, e só posteriormente é formado o rebordo.

A produção deste rebordo não é possível com as ferramentas presentes atualmente na linha de produção dos baldes. Estas não têm a capacidade de realizar uma geometria que contenha formas planas. Para contornar este problema, foi desenvolvida uma ferramenta que permite realizar uma pré-deformação da folha já soldada e expandida, para posteriormente esta completar as restantes operações da linha.



Figura 95 - Esquema de produção de novo rebordo

Para realizar o pré-ameaço, inicialmente é necessário realizar uma deformação de 45° na extremidade da folha, com o auxílio da prensa e da ferramenta. Posteriormente, esta volta a ser deformada com o auxílio da prensa hidráulica e de um prato liso, que vão impor um ângulo de 90°. Este pré-ameaço segue depois para a linha (Figura).

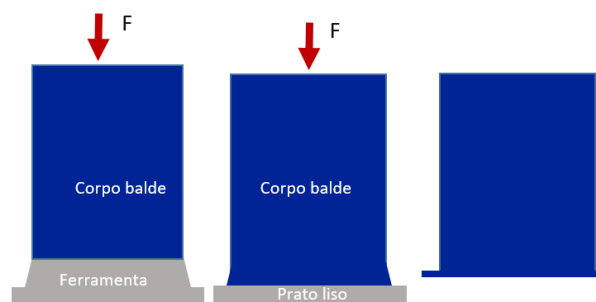


Figura 96 - Esquema do processo de fabrico do pré-ameaço

Após a produção dos baldes, foram realizadas três ações para verificar a conformidade da produção deste novo componente no balde, sendo elas:

- Controlo dimensional do rebordo;
- Corte no balde para verificar a geometria do rebordo (Figura 91);
- Corte em embalagem fechada na zona do fecho, para verificar o comportamento do rebordo no fecho da embalagem (Figura 91).

Com esta produção, foi conseguido um rebordo semelhante ao teoricamente desejado. Os resultados do controlo dimensional também se encontram conformes. Para validação do novo rebordo, é necessário que este passe nos ensaios exigidos pela homologação.

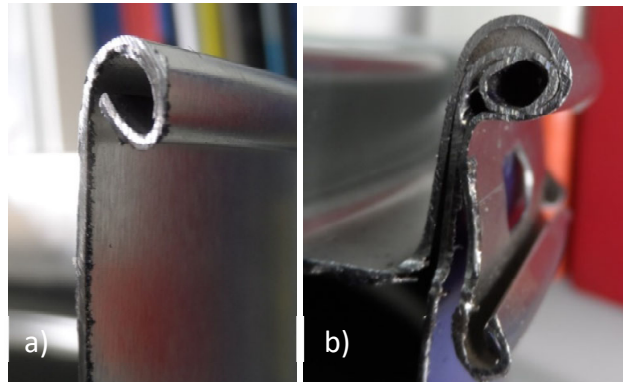


Figura 91 - Cortes realizados para validação da produção do novo rebordo a) corte rebordo b) corte no fecho

Sendo o fabrico do pré-ameaço uma operação manual, muito suscetível a variabilidade, e havendo também variabilidade na linha de produção, foram realizadas duas produções distintas de baldes com o novo rebordo. Desta forma, consegue-se validar a solução sem descartar o fator variabilidade.

3.5.2 Produção de novas geometrias para as garras

A produção de protótipos de tampos com uma nova geometria das garras, não é executável com as ferramentas atualmente existentes na Colep, como já referido

Desta forma, para que seja possível o fabrico de protótipos com novas geometrias, é necessário que estas já se encontrem previamente cortadas, para depois estas seguirem para as restantes operações. Para contornar esta situação, a folha foi cortada por laser, onde depois de cortada se realizou as seguintes operações: estampagem e aplicação de vedante (Figura 92).



Figura 92 - Esquema de produção dos tampos protótipos com nova geometria de garras

Após a estampagem, todos os tampos ficaram conformes, não havendo nenhum impedimento de estampar as soluções desenhadas. Os tampos encontram-se com a geometria definida inicialmente (Figura 93).

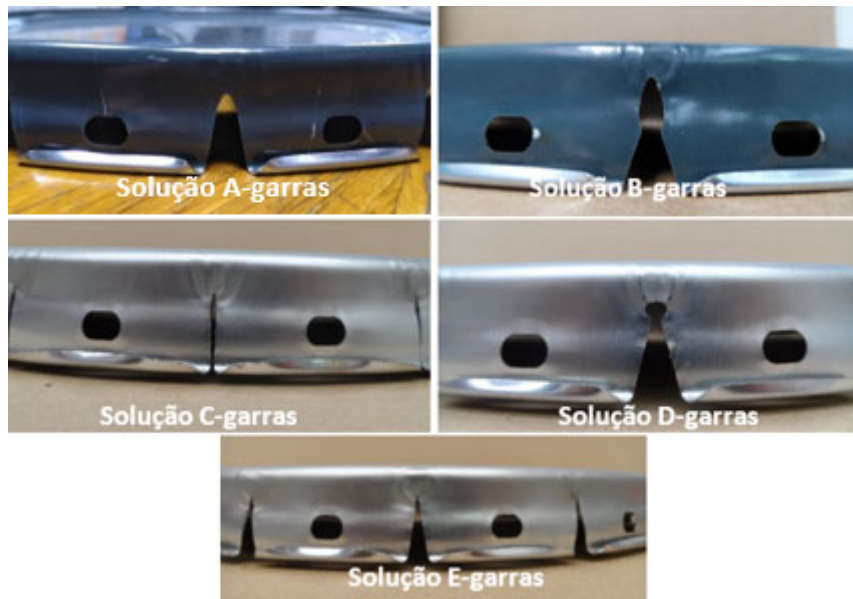


Figura 93 - Tapos protótipos com diferentes soluções de garras

3.6 Testes e resultados

3.6.1 Novo rebordo

Para validação do novo rebordo foram realizados os ensaios de queda e de pressão interna exigidos pelo ADR/RPE 2019.

3.6.1.1 Ensaio de queda sobre o fundo

Para a validação desta solução no ensaio de queda sobre o fundo, foram realizados quatro ensaios por cada produção. Nenhum dos baldes verteu pelo fundo, o que vem reforçar a eficácia da cravação tripla. Também nenhum tampo verteu antes do equilíbrio de pressões. Após se realizar o furo, para equilibrar a pressão da embalagem, em oito baldes ensaiados, cinco apresentaram uma pequena fuga pelo tampo.



Figura 94 - Embalagem com novo rebordo após ensaio de queda sobre o fundo

Foram realizados cortes nos tampos deformados, para verificar a evolução do comportamento do rebordo Novo face ao rebordo Colep. Conclui-se que o novo rebordo tem um comportamento muito mais favorável, não enrolando. Apesar desta boa *performance*, nota-se que ainda existe uma pequena folga criada, desta vez pela deformação do tampo, como se pode verificar na Figura 95.



Figura 95 - Recorte do fecho deformado pelo ensaio de queda sobre o fundo (Esquerdo) em comparação com um fecho de uma embalagem não testada (Direita)

3.6.1.2 Ensaio de queda sobre o tampo

Para a validação desta solução na queda sobre o tampo, foram realizados oito ensaios, quatro de cada produção. Os resultados foram uniformes: todos os baldes testados falharam no ensaio de queda. Apesar das embalagens não estarem conforme, estas apresentam uma melhor *performance* que as embalagens com o rebordo Colep.



Figura 96 - Deformação na embalagem com novo rebordo após teste de queda



Figura 97 - Embalagem com novo rebordo após ensaio de queda sobre o tampo.

Após a queda, a embalagem com o novo rebordo não sofre uma abertura do tampo, mantendo a integridade. Verifica-se apenas a formação de uma folga na zona onde o corpo do balde deforma. Na Figura 96 é possível verificar que a garra abre (seta vermelha). Esta melhoria veio comprovar a importância do rebordo na *performance* da embalagem.

3.6.2 Nova geometria de garras

Para avaliar a *performance* da nova geometria das garras, foram realizados os ensaios UN de queda e testes de abertura. Inicialmente, foram testadas as garras em embalagens Colep.

3.6.2.1 Avaliação do fecho e da sua abertura nas diferentes soluções

As embalagens com as diferentes soluções foram fechadas com um fecho simples, sem cuidados adicionais. Todas as embalagens foram fechadas cheias, para que os testes de abertura fossem o mais aproximado da realidade vivida com o consumidor final.

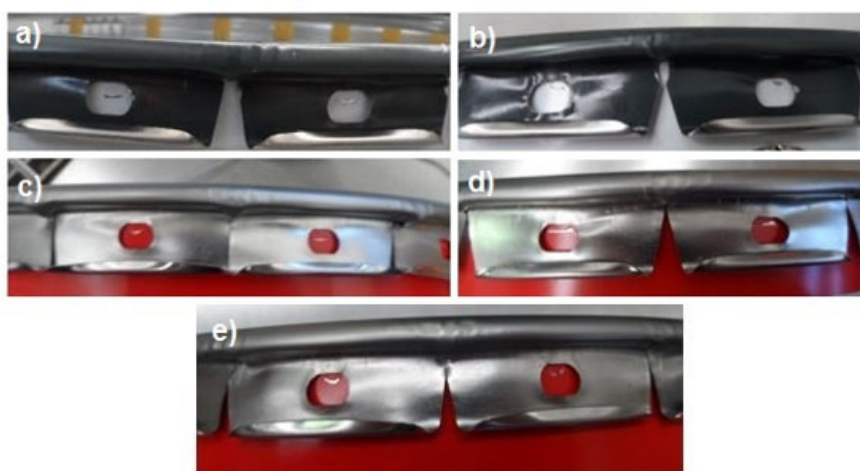


Figura 98 - Fechos de tampos protótipos com diferentes soluções de geometria das garras a) solução A-garras, b) solução B-garras, c) solução C-garras, d) solução D-garras, e) solução E-garras

O tampo protótipo com a solução C-garras apresenta garras sobrepostas, o que indica uma não conformidade, pelo que fica já definido que não é uma solução viável para a geometria das garras. As restantes soluções encontram-se todas conformes, não apresentando nenhum defeito após o fecho.



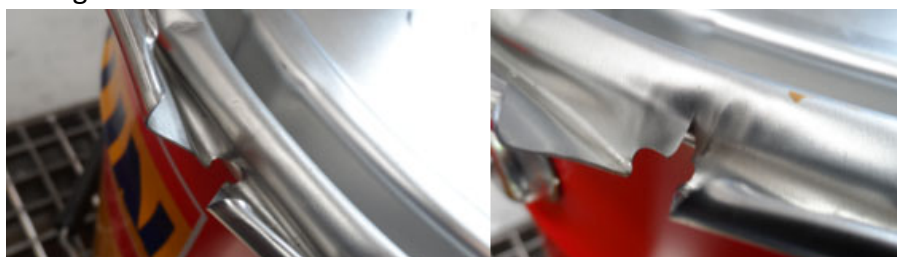
Figura 99 - Fecho com garras Colep

Como se pode observar no fecho com garras Colep, o tampo entre as garras apresenta uma imperfeição (seta azul, Figura 99). Esta imperfeição é prejudicial, não só a nível estético, mas também a nível de performance nos ensaios necessários para homologação. Como é possível observar na Figura 98, nenhuma das soluções apresenta este problema.

Tabela 26 Tempo de abertura de tampos protótipos com novas geometrias de garras

Solução	Tempo de abertura	% Redução de tempo de abertura	Observações
<i>A-garras</i>	56 s	63.29	Com rasgo entre garras
<i>B-garras</i>	48 s	69.62	Com rasgo entre garras
<i>C-garras</i>	Não abre	-	Garras sobrepostas
<i>D-garras</i>	56 s	63.29	Comportamento misto
<i>E-garras</i>	49 s	68.99	Com rasgo entre garras

Após a abertura dos tampos, foi possível também verificar que a solução *D-garras*, que foi desenvolvida para evitar que na abertura do tampo a folha sofresse um corte, não elimina esse fenómeno na sua totalidade. Considera-se assim esta solução com um comportamento misto. Após a abertura do tampo, observa-se intervalos entre garras que apresentam uma fissura na folha e outros que se mantêm intactos, como é possível observar na Figura 106.

Figura 100 - Pormenor no protótipo com tampo com Solução *D-garras*

3.6.2.2 Ensaio de queda sobre o fundo

Os ensaios de queda oblíqua sobre o fundo foram realizados a 1.8 m, em embalagens fechadas, antes do ensaio de queda.

A solução *C-garras* apresenta sobreposições nas garras, o que se considera uma não conformidade, pelo que não foram realizados ensaios a esta embalagem.

Tabela 27 - Resultado dos ensaios de queda sobre o fundo em embalagens com rebordo colep e com tampos protótipos com novas geometrias de garras

Solução	<i>A-garras</i>	<i>B-garras</i>	<i>D-garras</i>	<i>E-garras</i>
Resultado	Não OK	Não OK	Não OK	Não OK
Observação	Pequena fuga pelo tampo	Pequena fuga pelo tampo	Pequena fuga pelo tampo	Pequena fuga pelo tampo

Todas as embalagens apresentam um comportamento semelhante, pelo que se pode concluir que no ensaio de queda sobre o fundo, a geometria das garras não tem influência na *performance* da embalagem.

3.6.2.3 Ensaio de queda sobre o tampo

Os ensaios de queda oblíqua sobre o tampo foram realizados a 1.8 m, em embalagens fechadas, antes do ensaio de queda com um fecho simples. As embalagens foram cheias e fechadas no momento dos ensaios.

Tabela 28 - Resultado dos ensaios de queda sobre o tampo em embalagens com rebordo Colep e com tampos protótipos com novas geometrias de garras

Solução	A-garras	B-garras	D-garras	E-garras
Resultado	Não OK	Não OK	Não OK	Não OK
Observação	Fuga de elevadas dimensões	Fuga de elevadas dimensões	Fuga de elevadas dimensões	Fuga de elevadas dimensões

Todas as embalagens apresentam um comportamento semelhante. A *performance* das embalagens é melhor que a solução Colep. Desta forma pode-se concluir que no ensaio de queda sobre o tampo, a geometria das garras tem influência na *performance* das embalagens, embora seja uma influencia muito menor que a do rebordo.

Todas as geometrias das garras apresentam resultados semelhantes, pelo que a solução que será testada com o novo rebordo, é a solução A-garras. Esta solução foi escolhida por apresentar uma maior aproximação à embalagem Colep, sendo de fácil implementação.

3.6.3 Avaliação de soluções combinadas

A influência do rebordo e das garras já foi estudada anteriormente, separadamente. É essencial descobrir a influência destas alterações em conjunto, pois a melhoria das garras é essencial para conseguir um bom tempo de abertura.



Figura 102 - Ensaio de queda sobre o fundo em embalagem com soluções combinadas



Figura 101 - Ensaio de queda sobre o tampo em embalagem com as soluções combinadas

Os ensaios realizados com a *Solução C* para o rebordo e a *Solução A-garras* para o tampo, trouxe uma melhoria significativa para o balde. Nos ensaios de queda sobre o fundo, todas as embalagens ensaiadas resistiram à queda de uma altura de 1.8 m.

Os ensaios de queda sobre o tampo mostraram uma melhoria muito significativa. Das três amostras ensaiadas, todas obtiveram o mesmo comportamento. Após a queda da embalagem, uma das garras abre. A embalagem verte água, mas em quantidade muito pequenas.

Já na abertura da embalagem a junção de um novo rebordo à *solução A-garras* não altera o tempo de abertura da embalagem. Pelo que a solução combinada consegue juntar um excelente tempo de abertura com uma boa resistência aos ensaios de queda UN.



Figura 103 - Influência do tampo em embalagem com rebordo Solução C

3.7 Análise crítica

Nas diferentes etapas do desenvolvimento deste trabalho foi possível obter conclusões que permitiram um melhor conhecimento da embalagem. Este conhecimento traz à empresa uma vantagem competitiva. Foram realizadas várias etapas, todas elas com uma extrema importância para o desenvolvimento da embalagem. Na Figura 110 é possível observar um diagrama resumo de toda a investigação realizada nesta dissertação

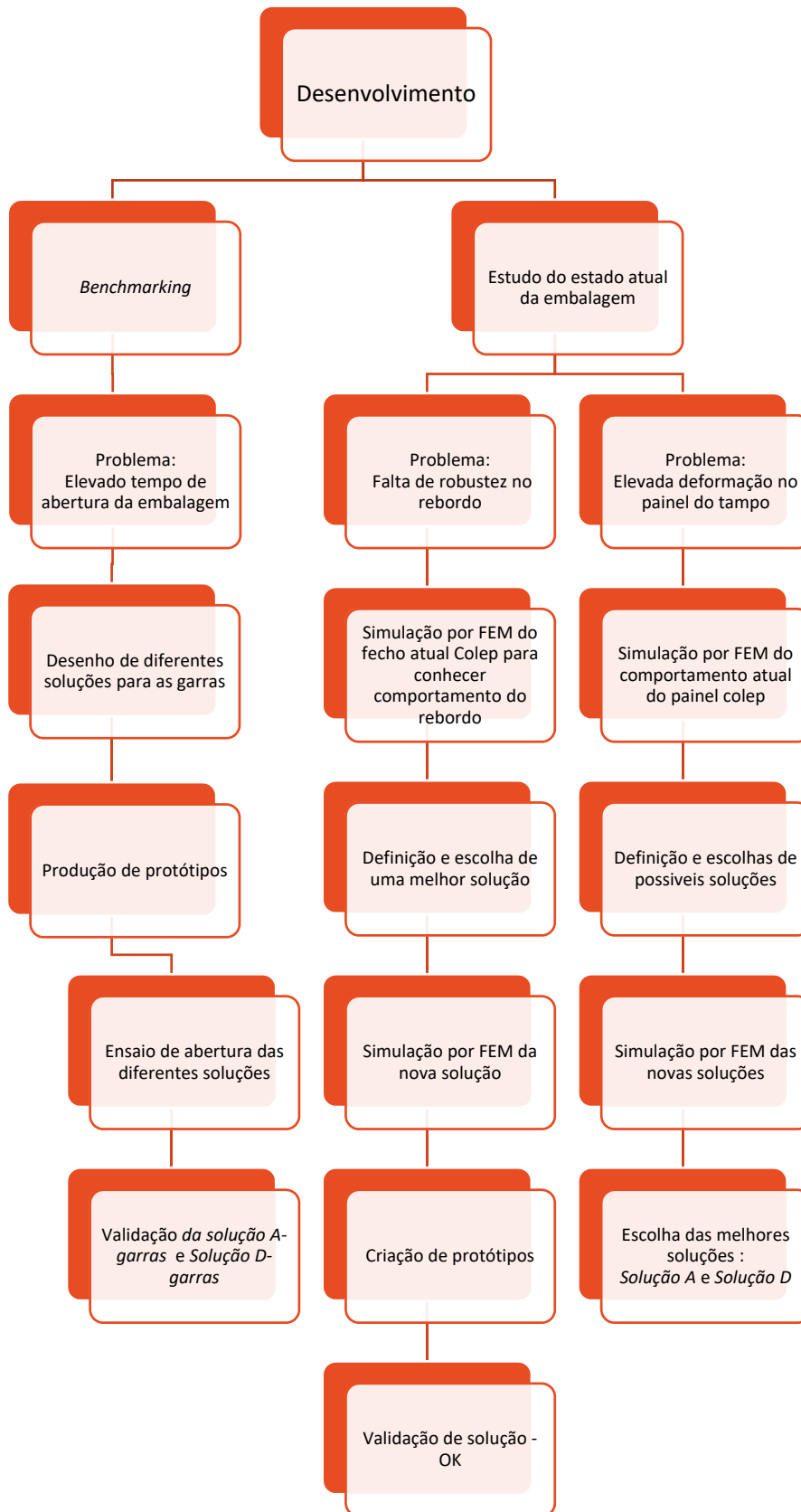


Figura 104 - Diagrama do desenvolvimento realizado para implementar melhorias na embalagem

No *benchmarking* realizado, é possível verificar que a redução de espessura é bastante ambiciosa, ficando a embalagem mais leve do mercado. Neste estudo, também é possível verificar que a embalagem Colep tem um elevado tempo de abertura. Este elevado tempo vem reforçar a necessidade de melhorar o fecho, não só na sua resistência, como também na sua facilidade de abertura.

Todas as soluções estudadas no presente relatório apresentaram uma melhoria à embalagem (Tabela 29), onde:

- O rebordo tem um elevado impacto na *performance* da embalagem nos ensaios UN, nomeadamente ensaios de queda. A embalagem com a *Solução C* para o rebordo, apresenta maior resistência aos ensaios UN, em comparação com a *Solução Atual*. Esta resistência deve-se ao facto de o rebordo apresentar uma geometria que trava o enrolamento deste quando sujeito a solicitações.
- A geometria das garras tem um elevado impacto no tempo de abertura da embalagem. O mesmo não se verifica nos ensaios UN, nomeadamente no ensaio de queda sobre o fundo. Os ensaios realizados com os protótipos apresentaram apenas pequenas melhorias no ensaio de queda sobre o tampo;
- A junção das soluções, a solução do rebordo e do tampo, vêm trazer uma melhoria significativa à embalagem.

Tabela 29 - Quadro resumo dos resultados obtidos com as diferentes soluções

Soluções	Ensaio de queda sobre o tampo	Ensaio de queda sobre o fundo	Tempo de abertura da embalagem
Solução C (rebordo)	Melhoria elevada	Melhoria	-
Solução A-garras	Melhoria	Sem melhoria	Melhoria elevada
Solução B-garras	Melhoria	Sem melhoria	Melhoria
Solução D-garras	Melhoria	Sem melhoria	Melhoria elevada
Solução E-garras	Melhoria	Sem melhoria	Melhoria
Solução Combinada (C + A-garras)	Melhoria elevada	Melhoria elevada	Melhoria elevada

A junção das soluções dá à embalagem uma resistência adicional apesar da sua redução de espessura. Este trabalho não é só útil para a embalagem alvo deste estudo, como também para as restantes embalagens Colep com sistemas de fecho semelhantes.

O rebordo *Solução C* pode ser aplicado nas restantes embalagens da empresa que apresentem rebordos nos seus sistemas de fecho. Esta aplicação nas diferentes soluções pode resultar em uma embalagem mais resistente. O aumento da resistência pode levar a um aumento da homologação ou a uma redução de espessuras, pelo que traz benefícios económicos e competitivos para a empresa.

Para além das soluções testadas, o estudo do painel do tampo, recorrendo à simulação de elementos finitos, veio mostrar que esta geometria é essencial para que a embalagem obtenha a certificação. As *soluções A* e *D* foram as que revelaram um melhor

comportamento à pressão interna. Estas soluções vão reduzir a probabilidade da deformação excessiva do painel do tampo e conseqüentemente aumentar a robustez da embalagem.

CONCLUSÕES

4.1 - CONCLUSÕES

4.2 - PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

Com a realização desta dissertação, foi possível analisar, estudar e testar a influência que os diferentes componentes de uma determinada embalagem têm na sua *performance*. Este conhecimento vem permitir à empresa a produção de embalagens não só mais robustas, mas também mais económicas.

Neste trabalho, foi definida a geometria ideal para o rebordo, assim como as alterações necessárias no processo de fabrico, para que esta solução seja implementada. Assim, é necessário que haja um investimento na linha, para que se torne possível reproduzir a nova geometria. Esse investimento requer a introdução de uma etapa na linha, na fase de fabrico do rebordo, como já anteriormente explicado.

A alteração da geometria das garras vem trazer à embalagem uma melhoria significativa na facilidade de abertura da embalagem por parte do cliente final. Esta implementação de uma nova geometria para as garras é facilmente conseguida na produção. Para que seja implementada, é apenas necessário que haja uma alteração de geometria na ferramenta de corte da folha.

A combinação da solução do rebordo e da geometria das garras, veio trazer à embalagem um aumento significativo de resistência nos ensaios UN.

Devido à elevada dificuldade e ao elevado custo de fabrico de protótipos com um novo painel do tampo, esta solução não foi fisicamente testada. Apesar deste entrave é possível usar como comparação as soluções obtidas por simulação de elementos finitos.

Após todo o estudo realizado, é possível determinar as áreas que mais influenciam a resistência da embalagem, criando-se um *know-now* sobre os baldes UN, que vai ajudar nas decisões técnicas sobre a embalagem. A definição de uma nova ainda não se encontra concluída, mas a nova embalagem está agora mais perto que nunca.

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Com base no conhecimento produzido neste trabalho, e com os resultados dos ensaios realizados, é possível agora definir uma embalagem UN mais robusta, com menor quantidade de matéria prima. Após a definição da embalagem, é possível melhorar esta em outros sentidos:

- Aumentar a resistência da embalagem à carga axial – a embalagem com redução de espessuras, diminui a sua resistência à carga axial. Desta forma, pode-se melhorar a geometria do canal do corpo, para esta ficar mais resistente. A carga axial é importante, pois quanto maior for este valor, menor será a probabilidade da embalagem sofrer danos durante o transporte das embalagens já cheias;

- Melhorar a *performance* do vedante – como foi possível verificar nos ensaios realizados o vedante usado para o tampo da embalagem não se adapta às suas deformações, deixando uma folga no fecho. Assim é necessário um vedante que após a deformação da embalagem, acompanhe o fecho sem deixar intervalos entre os componentes.

Para além da melhoria desta embalagem, o conhecimento que foi aqui adquirido pode ser implementado noutras embalagens Colep, por exemplo, nos baldes com fecho balestra. Nestes baldes, o sistema de fecho é semelhante e o processo de fabrico do corpo e do fundo são iguais.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- Á. Azevedo, (2003). *Método dos elementos finitos*. Obtido de http://alvaroazevedo.com/publications/books/Livro_MEF_AA_1ed/doc/Livro_MEF_AA.pdf
- ABAQUS, (2016a). ABAQUS/CAE User's Guide 17.3.3. Obtido a 8 de maio de 2019 de <https://www.sharcnet.ca/Software/Abaqus610/Documentation/docs/v6.10/books/usi/default.htm?startat=pt03ch17s03s03.html>
- ABAQUS, (2016b). ABAQUS/CAE User's Guide 17.5. Obtido a 8 de maio de 2019 de <https://www.sharcnet.ca/Software/Abaqus610/Documentation/docs/v6.10/books/usi/default.htm?startat=pt03ch17s05.htm>
- ABAQUS, (2016c). Abaqus/CAE User's Guide 6.2.2. Obtido a 8 de maio de 2019 de <https://www.sharcnet.ca/Software/Abaqus610/Documentation/docs/v6.10/books/usb/default.htm?startat=pt03ch06s02at01.html>
- ADEIRA, P. (1999). Benchmarking: a arte de copiar. *Jornal Do Técnico de Contas e Da Empresa (JTCE)*, 411, 364–367.
- ADR/RPE, (2019). *ADR/RPE Acordo Europeu Relativo ao Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Estrada (1º Edição; Tutorial)*. Lisboa: CNE.
- Ahmed, M. (2018). Adaptive finite element simulation of sheet forming process parameters, *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 30(3), 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2016.10.002>
- Analytics, A. (2018). *Global Tinplate Market (Value, Volume) - Consumption Analysis By End Use (Packaging, Electronics, Construction, Others), By Region, By Country (2018 Edition) - Forecast to 2023 - By Region (North America, Europe, Asia Pacific, RoW), By Country (U.S.A, Can.* Obtido a 7 de novembro de 2018 de marketresearch.com/Azoth-Analytics-v4068/Global-Tinplate-Value-Volume-Consumption-11550051/
- Anand, G. (2008). Benchmarking the Benchmarking Models. *Benchmarking: An International Journal*, 15(3), 257–291. <https://doi.org/10.1108/14635770810876593>
- Andersen, B., & Jordan, P. (1998). Setting up a performance benchmarking network. *Production Planning and Control*, 9(1), 13–19. <https://doi.org/10.1080/095372898234479>
- ANEPC, (2016). Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil - O que são materias perigosas? Obtido em 3 de dezembro de 2018, de <http://www.prociv.pt/pt-pt/RISCOSPREV/RISCOSTEC/TRANSPORTEMERCADORIASPERIGOSAS/Paginas/default.aspx>
- Barber, E. (2004). Benchmarking the management of projects: A review of current thinking, *International Journal of Project Management*, 22(4), 301–307. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2003.08.001>

- Barisic, B., Pepelnjak, T., & Kuzman, K. (2005). Numerical-Stochastic Modeling and Simulation of Deep Drawing Tinplate Rings. *Advanced Materials Research*, 8, 329–336. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.6-8.329>
- Bruton, A. (2005). *Manual de referência da cravação dupla para latas alimentares*. Crown.
- Colep. (2017). *Relatório e Contas Consolidadas*, Obtido a 3 de novembro de 2018 de http://www.rar.com/pt/informacao_financeira_colep/
- Costa, M. J. R., Gouveia, R. M., Silva, F. J. G., & Campilho, R. D. S. G. (2018). How to solve quality problems by advanced fully-automated manufacturing systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(9–12), 3041–3063. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0158-8>
- Costa, T., Silva, F. J. G., & Pinto Ferreira, L. (2017). Improve the extrusion process in tire production using Six Sigma methodology. *Procedia Manufacturing*, 13, 1104–1111. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.171>
- CSN. (2019). Folhas metálicas. Obtido a 26 de maio de 2019 de http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=61368&conta=45&id=231898
- Decreto-lei nº 366-A/97, 20 de dezembro do Ministério do Ambiente de 1977.*
- Dijksterhuis, G. (2016). New Product Failure: Five potential sources discussed. *Trends in Food Science & Technology*, 243–248. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.016>
- Dulin, D. (2006). UN closing Instrutinal Manual. Obtido a 4 de novembro de 2018, de <http://www.containerexperts.com/pdfs/Closing-Instructions-Pail.pdf>
- Ellis, J. (2011). Analysis of accidents and incidents occurring during transport of packaged dangerous goods by sea. *Safety Science*, 49(8–9), 1231–1237. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.04.004>
- Ellis, J. (2011a) Undeclared dangerous goods Risk implications for maritime transporte, *WMU Journal of Maritime Affairs*, (5-27), 1654-1642, <https://doi.org/10.1007/BF03195163>
- Emballator. (n.d.). Instructions for UN packagings. Obtido a 22 de novembro de 2018 de <https://www.emballatormetalgroup.se/wp-content/uploads/2016/12/Instructions-for-UN-packagings-Emballator.pdf>
- EN 10202. (2001). *Cold reduced tinmill products - Electrolytic tinplate and electrolytic chromium/chromium oxide coated steel Aciers*.
- Farmer, N. (2012). Packaging and marketing. In *Packaging Technology: Fundamentals, Materials and Processes*. <https://doi.org/10.1533/9780857095701>
- Fernandes, L., Silva, F. J. G., Andrade, M. F., Alexandre, R., Baptista, A. P. M., & Rodrigues, C. (2017). Increasing the stamping tools lifespan by using Mo and B4C PVD coatings. *Surface and Coatings Technology*, 325, 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.06.043>

- Fernandes, L., Silva, F. J. G., Paiva, O. C., Baptista, A., & Pinto, G. (2018). Minimizing the Adhesion Effects in Food Packages Forming by the Use of Advanced Coatings. *Procedia Manufacturing*, 17, 886–894. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.141>
- Fernandes, Liliana, Silva, F. J. G., & Alexandre, R. (2019). Study of TiAlN PVD coating on stamping dies used in tinplate food package production. *Micromachines*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/mi10030182>
- Giacalone, D. (2018). Methods in Consumer Research. In *Methods in Consumer Research*, (Vol. 1). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102089-0.00007-8>
- Hanlon, J. F., Kelsey J. R. & Forcinio, H. (1984). *Handbook of Package Engineering* (3ª edição), ISBN 9781566763066
- Henry, E., & Anne, E. (2012). *Packaging technology* (1ª Edição). Elsevier, ISBN 978-1-84569-665-8
Obtido de <http://www.sciencedirect.com/book/9781845696658/packaging-technology>
- Hildering, (n.d.). Made for faster closing and opening. Obtido 18 de março de 2019 de <http://www.hildering.com/cms/en/>
- IBC, (n.d.). Benchmarking Portal. Obtido a 24 de abril de 2019 de <https://www.apqc.org/benchmarking-portal/glossary/benchmarking>
- ISO, (1997). Light gauge metal containers -- Definitions and determination of dimensions and capacities -- Part 2: General use containers. ISO 90-2:1997. International Organization for Standardization.
- ISO. (2003). International Standard ISO 16104. Obtido de Packaging - Transport packaging for dangerous goods - Test methods: https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uac=t=8&ved=0ahUKEwjZ9O_ByMPUAhWKPbQKHe0UDzUQFggTMAE&url=http%3A%2F%2Fhsevi.ir%2FRI_Standard%2Ffile%2F3370&usq=AFQjCNEssdioTnnFoLn cLqEiPcA2tFS0SQ
- Kiran, D. R. (2017). *Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811035-5.00029-5>
- Krishna, A., Cian, L., & Aydınoglu, N. Z. (2017). Sensory Aspects of Package Design. *Journal of Retailing*, 93(1), 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2016.12.002>
- Li, K., Zheng, J., Liu, S., Ge, H., Sun, G., Zhang, Z., Xu, P. (2019). Thin-Walled Structures Buckling behavior of large-scale thin-walled ellipsoidal head under internal pressure. *Thin-Walled Structures*, 141(Março), 260–274. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.04.031>
- Lombarkia, R., & Barkat, B. (2013). Optimization of geometrical parameters of covers and hoops of metal packaging boxes. *21º Congrès Français de Mécanique*, 1–6. Bordeaux.
- Luo, T., Wu, C., & Duan, L. (2018). Fishbone diagram and risk matrix analysis method and its application in safety assessment of natural gas spherical tank. *Journal of Cleaner*

- Production*, 174, 296–304. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.334>
- Makinouchi, A. (2001). Recent developments in sheet metal forming simulation. In *Simulations of material processing: Theory, Methods and Applications*, ISBN 90-2651-822-6
- Mital, A., Desai, A., Subramanian, A., & Mital, A. (2015). *Product Development*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799945-6.00002-8>
- Neto, F. (2017). *Otimização do Sistema de Fecho de uma Embalagem Metálica para o Transporte de Produtos Perigosos*. Faculdade de Engenharia do Porto.
- Neves, P., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., Pereira, T., Gouveia, A., & Pimentel, C. (2018). Implementing Lean Tools in the Manufacturing Process of Trimmings Products. *Procedia Manufacturing*, 17, 696–704. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.119>
- Passos, C. A. S., & Haddad, R. B. B. (2013). Benchmarking: A tool for the improvement of production management. In *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)* (Vol. 6). <https://doi.org/10.3182/20130911-3-BR-3021.00003>
- Pepelnjak, T., & Barisic, B. (2007). Analysis and elimination of the stretcher strains on TH415 tinplate rings in the stamping process. *Journal of Materials Processing Technology*, 186, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.12.025>
- Rao, S. S. (2005). *The finite element method in engineering*. Obtido de <https://books.google.pt/books?id=7n6k2NmGU48C&printsec=frontcover&dq=Finite+Element+Method&hl=pt-PT&sa=X&ved=0ahUKEwiespfF2obiAhUuzlUKHUIWC8A4ChDoAQhVMAU#v=onepage&q=Finite+Element+Method&f=false>
- Rar. (n.d.). Empresa Colep. Obtido a 3 de outubro de 2018 de http://www.rar.com/pt/a_empresa_colep/
- Rar Portugal. (2017). *Relatório de Contas 2017*. Obtido a 4 de outubro de 2018 de http://www.rar.com/pt/relatorios_e_contas/
- Roy, A. (2017). *Industrial Packaging Market by Product (Drums, IBCs, Sacks, Pails, and Crates/Totes), Material (Paperboard, Plastic, Metal, Wood, and Fiber), and Application (Chemical & Pharmaceutical, Building & Construction, Food & Beverage, Oil & Lubricant, Agricultur*. Obtido de alliedmarketresearch.com/industrial-packaging-market
- Ruiz, J. L., & Sirvent, I. (2018). Performance evaluation through DEA benchmarking adjusted to goals. *Omega (United Kingdom)*. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.08.014>
- Silva, F. J. G., Campilho, R. D. S. G., Ferreira, L. P., & Pereira, M. T. (2018). Establishing guidelines to improve the high-pressure die casting process of complex aesthetics parts. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 7, 887–896. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-898-3-887>
- Sociedade Ponto Verde. (n.d.). Obtido a 20 de novembro de 2018 de

https://www.pontoverde.pt/quem_somos.php

TATA. (2016). Packaging Product Range. Obtido 1 de fevereiro de 2019 de TATA Steel Europe website:
<https://www.tatasteeleurope.com/en/markets/manufactured/packaging/downloads>

Theobald, N., & Winder, B. (2009). *Packaging Systems Sealing Closures*. United Kingdom: Blackwell Publishing Ltd, ISBN 9781405178730

Wang, Y. C., Su, M., Xia, D. H., Wu, Z., Qin, Z., Xu, L., ... Hu, W. (2019). Development of an electrochemical sensor and measuring the shelf life of tinfoil cans. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 134, 500–508. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.10.096>

Zhu, Y., Dai, Y., Ma, Q., & Tang, W. (2018). Thin-Walled Structures Buckling of externally pressurized cylindrical shell : A comparison of theoretical and experimental data. *Thin Walled Structures*, 129, 309–316. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2018.04.016>

