



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Estudo da viabilidade de aplicação de primários alternativos na pintura de aeronaves face ao Regulamento da UE REACH

Daniel Machado Nicolau Ginja

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Aeronáutica
(ciclo de estudos integrados)

Orientador: Prof. Dr José Manuel Mota Lourenço da Saúde

Coorientador: Eng. Luís Alberto Rodrigues Casquilho

Covilhã, outubro de 2018

'Earth provides enough to satisfy every man's needs, but not every man's greed.'

Mahatma Gandhi

Agradecimentos

Primeiramente, quero agradecer ao professor Fernando Santos por possibilitar a realização desta dissertação na OGMA - Indústria Aeronáutica de Portugal S.A.

Ao Prof. Doutor José Manuel Mota Lourenço da Saúde e ao Eng. Luís Alberto Rodrigues Casquilho, agradeço por me orientarem e pela partilha do saber. As vossas opiniões, críticas e rigor foram contributos indispensáveis para a finalização deste trabalho.

Agradeço à Eng. Cláudia Magalhães e à Eng. Ana Montez, pela disponibilidade e por todo o conhecimento e conselhos passados, assim como aos meus colegas de estágio da OGMA, Mariana Romão, João Ferreira e Laura Martins, pelo ótimo ambiente de trabalho e apoio nestes últimos 6 meses. Um enorme obrigado ao técnico de pintura Carlos Dias pela ajuda imprescindível nos ensaios, precisão e por todo o tempo precioso despendido.

A todos os meus colegas do curso de Engenharia Aeronáutica, agradeço pelo privilégio de terem partilhado comigo estes 5 anos de percurso académico e todo o companheirismo.

À minha namorada Méliça, por todo o apoio, compreensão e motivação incondicionais durante uma das fases mais cruciais da minha vida.

Por fim, o meu maior obrigado à minha mãe, ao meu pai e aos meus irmãos, por todo o carinho, por acreditarem sempre em mim, darem-me a oportunidade de obter um curso superior, apesar das dificuldades, e de me inculcarem todos os valores que me permitiram chegar até aqui.

Resumo

A aplicação de revestimentos em sistemas aeronáuticos é imperativa para a sua operação numa vasta gama de condições ambientais. Estes revestimentos conferem propriedades que permitem proteger a superfície metálica contra o aparecimento precoce de corrosão, assim como características especiais, como tornar a aeronave indetetável aos radares de forças inimigas, no caso das militares.

Até à data, na indústria aeronáutica, foram utilizados maioritariamente os compostos de crómio hexavalente nos processos de pintura, devido às suas propriedades anticorrosivas e baixo custo. Todavia, surge necessidade para a sua substituição, devido a exibir elevados níveis de toxicidade e ser reconhecido como um carcinogénico humano via inalação.

Este trabalho estudou a viabilidade de substituição de primários utilizados na pintura de aeronaves na OGMA por outros que satisfaçam o regulamento relativo ao registo, avaliação, autorização e restrição de substâncias químicas, que foi criado para restringir o uso de substâncias prejudiciais à saúde humana e ao ambiente na União Europeia.

Com os resultados obtidos foi possível constatar que os primários alternativos testados para o setor militar, comparativamente aos com crómio hexavalente, são inviáveis economicamente. Isto deve-se ao facto de apresentarem um preço superior, uma capacidade de cobertura inferior e uma espessura requerida maior, o que por sua vez aumenta consideravelmente a quantidade de primário necessário para pintar uma aeronave.

Por outro lado, o primário alternativo do setor civil testado mostrou rivalizar todos os parâmetros considerados, relativamente ao primário com crómio hexavalente. Isto leva-nos a concluir que, no presente, embora haja uma oferta de primários alternativos qualificados no mercado, apenas alguns reúnem todos os atributos necessários para serem implementados. A dificuldade em substituir substâncias em sistemas já estabelecidos, devido à complexidade dos mesmos, da sua cadeia de abastecimento e aos longos períodos de aprovação, fazem com que seja somente viável implementar tais primários em sistemas em desenvolvimento. Recomenda-se num futuro estudar a implementação de um pré-tratamento de superfície compatível com as operações da empresa, a implementação de sistemas automatizados de pintura de forma a reduzir o impacto da exposição no fator humano.

Palavras-chave

Aeronáutica, Revestimento, Pintura, Primário, Regulamento REACH, Crómio hexavalente.

Abstract

The application of coatings in aeronautical systems is imperative for their operation in a wide range of environmental conditions. These coatings confer properties that allow the metal surface to be protected against the early appearance of corrosion, as well as special features such as rendering the aircraft undetectable to the radars of enemy forces, in the case of the military. Until now, in the aeronautical industry, chromium hexavalent Cr(VI) compounds have been broadly used in painting schemes due to their anticorrosive properties and low cost. Nonetheless, there is a need for their replacement due to exhibiting high levels of toxicity and being recognized as a human carcinogen via inhalation. This work studied the feasibility of replacing primers used in aircraft painting at OGMA by others that comply with REACH Regulation, which was created to restrict the use of substances harmful to human health and the environment in the European Union. With the results obtained, it was possible to verify that the alternative military primers tested, compared to the one containing Cr(VI), are economically unfeasible. This is due to the fact that they have a higher price per liter, a lower coverage capacity and a greater required thickness, which in turn greatly increases the amount of primer required to paint an aircraft. On the other hand, the alternative primer of the civil sector tested proved to rival all the considered parameters relative to the primer with Cr(VI). This leads us to conclude that at present, although there is qualified alternative primers in the market, only a few have all the attributes necessary to be implemented. The difficulty of replacing substances in already established systems, due to their complexity, supply chain and long approval periods, makes it only feasible to implement such primers in systems in development. It is recommended in the future to study the implementation of a surface pretreatment compatible with the company's operations, the implementation of automated painting systems in order to reduce the impact of exposure on the human factor.

Keywords

Aeronautical, Coating, Painting, Primer, REACH Regulation, Chromium Hexavalent.

Índice

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Índice	xi
Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xix
Lista de acrónimos e de siglas	xxii
Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 - Motivações	1
1.2 - Objetivo.....	1
1.3 - Metodologia	2
1.4 - Limites	2
1.5 - Estrutura do trabalho	2
Capítulo 2 - Indústria Aeronáutica de Portugal S.A	5
2.1 - Apresentação.....	5
2.2 - Hangar de Pintura	6
Capítulo 3 - Estado da Arte	9
3.1 - Pintura de Aeronaves	10
3.1.1 - Crómio hexavalente.....	11
3.2 - Pintura de manutenção	12
3.2.1 - Despintura	13
3.2.2 - Pintura	15
3.3 - Regulamento REACH	18
3.2.1 - Objetivos e medidas	18
3.2.2 - Obrigações	21
Capítulo 4 - Impacto do Regulamento REACH na indústria aeronáutica	23
4.1 - Especificidades do setor e conformidade com o regulamento	23

4.1.1 - Processo de aprovação	24
4.1.2 - Ciclos de vida de produtos em relação aos prazos REACH	27
4.1.3 - Atividades de MRO	30
4.1.4 - Estruturas complexas e cadeias de abastecimento	31
4.1.5 - Documentação técnica do produto.....	35
4.2 - Impacto socioeconómico no setor aeronáutico	37
4.3 - Uso de Cr(VI) na indústria e investigação de produtos alternativos.....	40
4.4 - Enquadramento da OGMA no Regulamento REACH.....	45
Capítulo 5 - Materiais e métodos	49
5.1 - Seleção por especificação	49
5.1.1 - Especificações utilizadas na pintura de aeronaves.....	50
5.1.2 - Procura de produtos primários alternativos	52
5.2 - Ensaios	52
5.2.1 - Espessura	55
5.2.2 - Massa	55
5.2.3 - Cobertura	56
5.2.4 - Aderência a seco (com e sem quadrícula)	57
5.3 - Análise de custos	59
Capítulo 6 - Apresentação e discussão dos resultados	61
6.1 - Seleção por especificação	61
6.2 - Ensaios	63
6.2.1 - Espessura	65
6.2.2 - Massa	67
6.2.3 - Cobertura.....	68
6.2.4 - Ensaio de aderência a seco (com e sem quadrícula).....	69
6.3 - Análise de custos	71
Capítulo 7 - Conclusões e Trabalhos Futuros	73
7.1 - Conclusões.....	73
7.2 - Trabalhos futuros.....	75
Bibliografia	77
Anexo 1	81

Lista de Figuras

Figura 1 Organigrama da OGMA - Indústria Aeronáutica de Portugal S.A.	5
Figura 2 Vista 3D virtual do hangar de pintura da OGMA.	6
Figura 3 Hangar de pintura da OGMA.	7
Figura 4 Secagem da tinta após aplicação (AkzoNobel, 2013).	9
Figura 5 Esquema de pintura típico aplicado a metal (Johnson & Bliss, 2006) adaptado.	10
Figura 6 Ação anticorrosiva do cromato (apenas primário e substrato representados) (GCCA Consortium, 2017) adaptado.	12
Figura 7 Etapas do processo de despintura mecânica e química (Robins AFB, 2017).	14
Figura 8 Etapas do processo de pintura (Robins AFB, 2017).	16
Figura 9 Movimentos da pistola de pintura (Robins AFB, 2017) adaptado.	17
Figura 10 Pintura de sobreposição a 50% e de sobreposição cruzada (Robins AFB, 2017) adaptado.	17
Figura 11 Processo de qualificação, certificação e industrialização (ECHA-EASA, 2014) adaptado.	24
Figura 12 Principais fases da introdução de um alternativo candidato exemplo na produção (GCCA Consortium, 2017) adaptado.	27
Figura 13 Ciclo de vida de uma aeronave militar em relação ao crescimento da CL (ASD, 2017) adaptado.	28
Figura 14 Ilustração teórica da complexidade típica de um produto aeronáutico (ASD, 2017) adaptado.	32
Figura 15 Cadeia de abastecimento típica no setor aeronáutico (ASD, 2017) adaptado.	33
Figura 16 Cadeia de abastecimento para objetos super complexos (ASD, 2017) adaptado. ...	34
Figura 17 Exemplo de esquema de pintura com Cr(VI) (CCST Consortium, 2017).	41
Figura 18 Esquemas de pintura utilizados na indústria atualmente (CCST Consortium, 2017) adaptado.	43
Figura 19 Bases de inibidores alternativos a Cr(VI) adaptado (GCCA Consortium, 2017).	44
Figura 20 Diagrama do processo de cotação após o sunset date.	46
Figura 21 Provete de Alumínio 2024-T3 com tratamento de cromatação.	53
Figura 22 Viscosímetro tipo ISO Cup 4#.	53

Figura 23 Pistola HVLP.	54
Figura 24 Fisher ISOSCOPE® MP1C.....	55
Figura 25 Diagrama do ensaio de aderência.	57
Figura 26 Posição da fita imediatamente antes da remoção.	58
Figura 27 Erichsen Multi Cross Cutter Model 295.....	58
Figura 28 Posição da fita em relação à quadrícula.	58
Figura 29 Provetes após aplicação dos respectivos primários.....	65
Figura 30 Provetes do setor Militar após ensaio de aderência com quadrícula.....	70
Figura 31 Provetes do setor Civil após ensaio de aderência com quadrícula.	70
Figura 32 BOM (Lista de materiais) exemplo de aeronave comercial (ASD, 2017).	81
Figura 33 Fluxo de Dados de Materiais Perigosos na Documentação Técnica (ASD, 2017).....	81
Figura 34 Exemplo de informações à cerca do uso seguro (Cádmio em "fasteners") (ASD, 2017).	82
Figura 35 Exemplo de informação à cerca do uso seguro (Arsénico, Cádmio, Chumbo presentes em circuitos impressos) (ASD, 2017).	82

Lista de Tabelas

Tabela 1 Descrição do Regulamento REACH (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012) adaptado.	20
Tabela 2 Visão geral dos Níveis de Prontidão Tecnológica (TRL) (Gil, Andrade, & Costa, 2014) adaptado.	25
Tabela 3 Ciclos de vida típicos no setor aeroespacial e de defesa (ASD, 2017) adaptado. ..Erro! Marcador não definido.	
Tabela 4 Exemplo de atividades MRO dentro do ciclo de vida de uma aeronave em relação ao crescimento da CL (ASD, 2017) adaptado.	29
Tabela 5 Exemplos de componentes onde são aplicados primários com Cr(VI) (GCCA Consortium, 2017).	40
Tabela 6 Eficiência típica de transferência dos métodos de aplicação (Paint Coverage/Consumption Calculation).	56
Tabela 7 Critérios de aceitação para ensaios de aderência (International Organization for Standardization, 2013) adaptado.	59
Tabela 8 Primários alternativos obtidos através de especificações compatíveis com a Regulamento REACH.	61
Tabela 9 Parâmetros das amostras testadas com os primários aplicáveis ao setor Militar. .Erro! Marcador não definido.	
Tabela 10 Parâmetros das amostras testadas com os primários aplicáveis ao setor Civil.	64
Tabela 11 Espessura da camada seca dos primários do setor Militar.	65
Tabela 12 Espessura da camada seca dos primários do setor Civil.	65
Tabela 13 Massa da camada seca dos primários do setor Militar.	67
Tabela 14 Massa da camada seca dos primários do setor Civil.	67
Tabela 15 Cobertura da camada seca dos primários do setor Militar.	68
Tabela 16 Cobertura da camada seca dos primários do setor Civil.	68
Tabela 17 Aderência da camada seca dos primários do setor Militar.	69
Tabela 18 Aderência da camada seca dos primários do setor Civil.	69
Tabela 19 Custos e quantidade de primários do setor Militar.	71
Tabela 20 Custos e quantidade de primários do setor Civil.	71

Lista de acrónimos e de siglas

ACF	<i>Airbus Chromate-Free</i>
AfA	<i>Application for Authorization</i>
AEA	<i>Association of European Airlines</i>
AMS	<i>Aerospace Material Specifications</i>
ASD	<i>Aerospace and Defense Industries Association of Europe</i>
CL	<i>Candidates list</i>
CAS	<i>Chemical Abstracts Service</i>
CCO	<i>Chief Comercial Officer</i>
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
CFO	<i>Chief Financial Officer</i>
COO	<i>Chief Operation Officer</i>
CCC	<i>Chromate Conversion Coating</i>
CFBPS	<i>Chrome Free Bond Primer Systems</i>
CCST	<i>Chromium VI Compounds for Surface Treatment REACH Authorization Consortium</i>
CO	<i>Complex Object</i>
EEE	<i>Espaço Económico Europeu</i>
ECHA	<i>European Chemical Agency</i>
EU	<i>European Union</i>
ECO	<i>Extremely Complex Object</i>
FTPP	<i>Ficha Técnica de Produto de Pintura</i>
GE	<i>General Electric</i>
HVLP	<i>High Volume Low Pressure</i>
LRU	<i>Line-Replacement Units</i>
LO	<i>Low Observable</i>
MEP	<i>Embraer Material Specifications</i>
MEW	<i>Manufacturer's Empty Weight</i>

MRL	<i>Manufacturing Readiness Level</i>
MRO	<i>Maintenance, Repair and Overhaul</i>
MsDS	<i>Material Safety Data Sheet</i>
MTOW	<i>Maximum takeoff weight</i>
MoD	<i>Ministérios de Defesa</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
P/N	<i>Part Number</i>
PVU	<i>Prazo de Vida Útil</i>
QPL	<i>Qualified Products List</i>
REACH	<i>Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical Substances</i>
RFQ	<i>Request for Quotation</i>
SRU	<i>Shop Replacement Units</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SVHC	<i>Substance of Very High Concern</i>
SCO	<i>Super Complex Object</i>
TRL	<i>Technology Readiness Level</i>
TCU	<i>Total Cost of Ownership</i>
SERDP	<i>United States Department of Defence Strategic Environmental Research and Development Program</i>
USDOD	<i>United States Department of Defense</i>
UTC	<i>United Technologies Corporation</i>
VCO	<i>Very Complex Object</i>

Capítulo 1 - Introdução

1.1 - Motivações

A complexidade dos sistemas aeroespaciais e a gama de condições ambientais que estes sistemas devem suportar, tornam a prevenção de corrosão uma tarefa desafiadora. Até ao momento, foram utilizados compostos com crómio hexavalente (Cr(VI)) nos processos de pintura devido à sua capacidade em conferir propriedades anticorrosivas à superfície das aeronaves, a um custo relativamente baixo.

Porém, há a necessidade da sua substituição, uma vez que apresenta elevados níveis de toxicidade, sendo reconhecido como um carcinogénico humano via inalação. Desde os anos 20 do século passado que existem estudos que mostram que pessoas com trabalhos em torno de processos industriais, que utilizam Cr(VI), têm taxas mais altas de cancro pulmonar e nasal (Park, et al., 2004).

Apesar de haver um limite de 2,5 µg/m³ de exposição permissível (PEL), imposto pela OSHA¹, no caso dos EUA, vários estudos de indústrias relacionadas com Cr(VI) identificaram que os trabalhadores envolvidos nestas práticas estavam expostos a concentrações que excediam 5 µg/m³ (Rosaaen, 2017). Adicionalmente, a gestão dos resíduos gerados por tais processos industriais é crucial, pois os compostos de Cr(VI) emitidos no ar e na água proliferam-se nas proximidades, exercendo um efeito tóxico na vida aquática e no solo (Pellerin & Booker, 2000).

O Regulamento REACH² enquadra-se nesta temática, ao acionar a médio prazo um mecanismo de restrição, dentro da União Europeia, desta e de outras substâncias consideradas de elevada preocupação (SVHC³). Deste modo, procura fomentar a investigação de substâncias alternativas com características equivalentes e que não sejam prejudiciais à saúde humana e ao ambiente.

1.2 - Objetivo

O objetivo desta dissertação de mestrado é estudar a viabilidade de substituição dos produtos primários utilizados na pintura de aeronaves por outros que satisfaçam o Regulamento REACH e dessa forma cumprir com a legislação da União Europeia.

¹ *Occupational Safety and Health Administration*

² Regulamento (CE) nº 1907/2006, relativo ao registo, avaliação, autorização e restrição de substâncias químicas na União Europeia.

³ *Substance of Very High Concern*

1.3 - Metodologia

De forma a cumprir com os objetivos propostos, este trabalho baseia-se fundamentalmente na análise documental da especificação dos produtos a serem substituídos. Esta especificação é utilizada posteriormente numa pesquisa no mercado, de maneira a encontrar produtos alternativos qualificados que obedeçam à mesma.

Identificado um produto alternativo, serão realizados testes para comparar a aplicabilidade deste em relação ao produto que substitui. Estes testes incluem ensaios à sua cobertura, massa, espessura, assim como aderência a seco. Os procedimentos empregues seguirão as condutas em vigor na empresa.

1.4 - Limites

Este estudo foca-se apenas na substituição de produtos primários, pois ainda não existem no mercado pré-tratamentos com um intervalo longo o suficiente para ser compatível com a duração das operações de manutenção da OGMA até à aplicação de primário.

Adicionalmente, apenas é considerada a substituição de primários aplicados em metais, visto que em material compósito não é necessária a presença de cromatos pois não é suscetível a corrosão.

Devido ao número reduzido de produtos alternativos no mercado, não são testados mais do que dois alternativos para cada primário atualmente em uso. Por motivos de confidencialidade, serão omitidos neste trabalho os *Part Numbers* (P/N) comerciais dos produtos, assim como os fabricantes dos mesmos.

Ainda neste estudo, todos os testes realizados têm apenas o objetivo de avaliar a aplicabilidade e não a suscetibilidade à corrosão a longo prazo. Isto deve-se ao facto de os produtos primários serem testados quanto a este parâmetro no seu processo de qualificação, o que torna a repetição destes testes redundante.

1.5 - Estrutura do trabalho

Esta dissertação divide-se em sete capítulos distintos, organizados de modo a estruturar todo o trabalho de forma lógica e concisa.

O Capítulo 1 - Introdução, é o presente e explicita as motivações e objetivos propostos pela dissertação, assim como a metodologia e limites considerados ao longo da sua concretização.

O Capítulo 2 - OGMA Indústria Aeronáutica de Portugal S.A., apresenta a empresa na qual este trabalho foi desenvolvido, ao falar da sua história, estrutura e departamento de pintura.

O Capítulo 3 - Estado da arte, introduz em detalhe a pintura de aeronaves, do seu papel aos procedimentos a executar na pintura de manutenção, bem como o Regulamento REACH.

O Capítulo 4 - Impacto do Regulamento REACH no setor aeronáutico, relaciona as imposições do Regulamento REACH com as dificuldades que o setor enfrenta em cumpri-las. Adicionalmente, refere os esforços efetuados ao longo dos anos para encontrar alternativas e o papel da OGMA nesta temática.

O Capítulo 5 - Materiais e métodos, é onde se procede com a descrição das metodologias utilizadas na obtenção de primários alternativos e dos ensaios efetuados para validar a aplicabilidade destes.

O Capítulo 6 - Apresentação e discussão dos resultados, trata da exposição de todos os resultados obtidos e da análise dos mesmos.

O Capítulo 7 - Conclusões e trabalhos futuros, dá encerramento ao trabalho apresentando conclusões finais e recomendações para trabalhos futuros.

Capítulo 2 - OGMA - Indústria Aeronáutica de Portugal S.A.

2.1 - Apresentação

A OGMA - Indústria Aeronáutica de Portugal S.A., fundada em 1918 pela criação do Parque de Material Aeronáutico em Alverca, sendo posteriormente designada por Oficinas Gerais de Material Aeronáutico, desempenhou um papel fulcral na fundação da indústria aeronáutica em Portugal e é uma das principais referências em Manutenção, Aeroestruturas, Engenharia Aeronáutica e Gestão de Frota (OGMA, 2018).

Até 1994, foi gerida pela Força Aérea Portuguesa como estabelecimento industrial com autonomia administrativa e financeira, passando de 14 de fevereiro desse ano até 2004 por uma fase de transição com gestão mista entre a força aérea e gestores nomeados pelo estado. No ano de 2004, foi aprovada a privatização da OGMA, entre 35% do capital da organização detido pelo Governo e 65% pelo consórcio Air Holding (EMBRAER e EADS) que passou posteriormente a ser controlado na totalidade pela Embraer (OGMA, 2018).

Do seu volume de negócios, maioritariamente composto por clientes internacionais, 70% corresponde aos serviços de MRO (Manutenção, Reparação e Revisão Geral) de Aviação de Defesa, Aviação Comercial e Executiva, Motores, Engenharia e Componentes.

Incluído nestas atividades de MRO, mais especificamente na Manutenção de Aeronaves (realçada na Figura 1), encontra-se um foco atual em melhorar as capacidades de pintura de aeronaves da área produtiva, suportada pela Engenharia de Processo, de forma a abranger um leque mais diversificado de serviços que permitirão impulsionar o negócio nesta área.

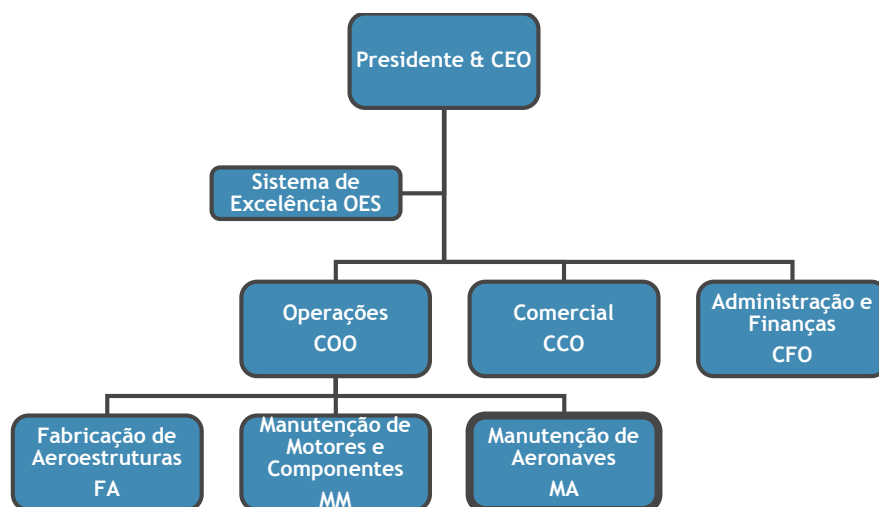


Figura 1 Organograma da OGMA - Indústria Aeronáutica de Portugal S.A.

2.2 - Hangar de Pintura

Representativo de um forte investimento da empresa no mercado da pintura de aeronaves, foi inaugurado a 7 de fevereiro de 2017 o novo hangar vocacionado exclusivamente para esta área, equipado com tecnologias atuais de climatização e recuperação energética (ver Figura 2).

Aqui é possível realizar diversos serviços nas aeronaves, nomeadamente de lavagem, decapagem e pintura, possuindo a capacidade de intervenção de 2 aeronaves em simultâneo (ver Figura 2). Ou seja, uma aeronave ligeira (tipo F-16) e uma aeronave média (tipo ERJ135/145) ou pesada (tipo C-130, P-3, KC-390, EJET E170/190), existindo ainda a possibilidade acrescida de albergar apenas uma aeronave maior (Airbus A321). Adicionalmente, existem cabines de lixagem e pintura, para trabalhar de forma isolada em componentes que são desinstalados das aeronaves durante os processos de manutenção.

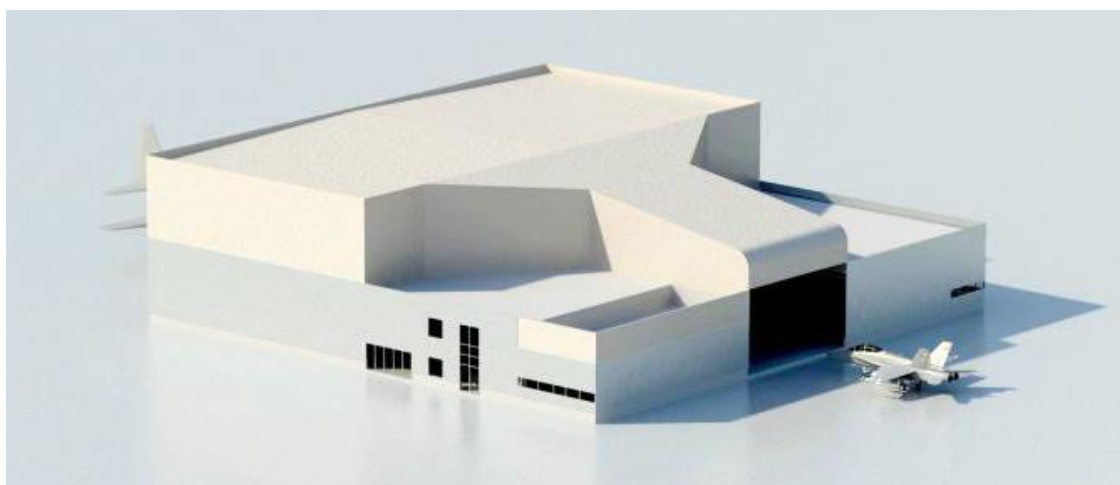


Figura 2 Vista 3D virtual do hangar de pintura da OGMA.

Uma das características deste hangar é um sistema de pintura “*Down Draft*”, em que um fluxo de ar é projetado pelo topo do hangar e a aspiração é realizada inferiormente através de *pits* (fossos) existentes no solo. Estes foram colocados de maneira a abranger todas as partes da aeronave e formam uma série de corredores na parte de baixo do hangar que permitem, para além da extração dos gases, efetuar a recolha dos efluentes líquidos que são enviados para tratamento.

Adicionalmente, este hangar possui um sistema de controlo de temperatura e de humidade, bem como um sistema de renovação de ar que permite recolher e filtrar continuamente, a uma velocidade de 600.000m³ por hora, os compostos voláteis libertados antes de estes serem lançados para a atmosfera.

Esta infraestrutura, mostrada na Figura 3, é dotada também de vários equipamentos que resultam numa melhor eficiência energética, como a instalação de recuperadores de calor e um sistema solar termodinâmico, que permite a produção de água quente em qualquer altura do dia ou do ano.



Figura 3 Hangar de pintura da OGMA.

Capítulo 3 - Estado da Arte

A palavra “tinta” é utilizada livremente para representar todos os materiais de acabamento de uma superfície. No entanto, esta finalidade constitui apenas um tipo numa variedade de acabamentos possíveis.

As tintas modernas podem ser uma mistura de vários componentes, sendo que os constituintes principais são o pigmento e o veículo (ver Figura 4). Os componentes secundários podem ser diluentes, que retardam ou encurtam o tempo de secagem da tinta conforme o requerido, ou outros aditivos.

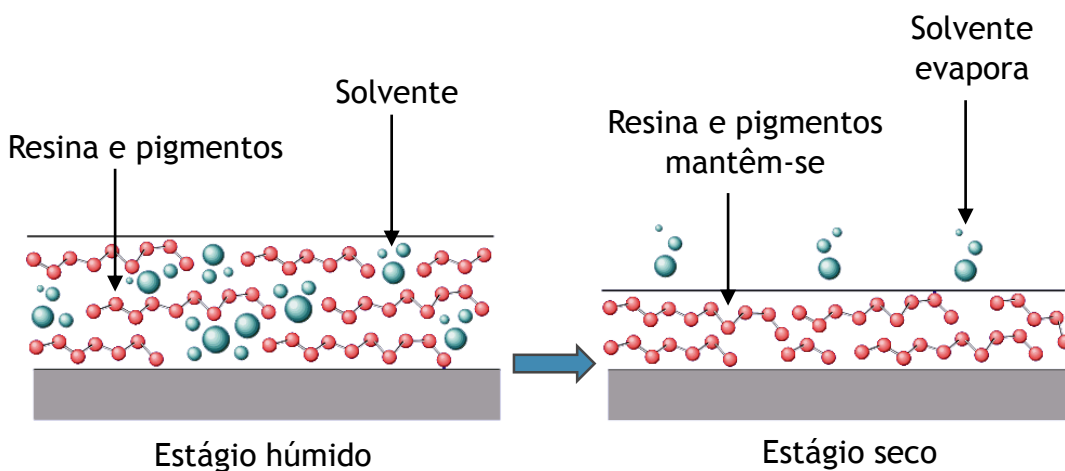


Figura 4 Secagem da tinta após aplicação (AkzoNobel, 2013).

Os pigmentos são pequenas partículas sólidas de materiais opacos, substancialmente insolúveis, incorporados nas tintas para fornecer cor, poder de cobertura e qualidades específicas, como reflexão de luz e calor (ou absorção de calor) e inibição de corrosão. Estes podem ser de tipo orgânico⁴ ou inorgânico e de origem natural ou sintética.

O veículo é a parte líquida do revestimento. É o componente mais significativo do revestimento pois é o que forma a película e fornece as qualidades desejadas de aderência, flexibilidade e resistência a vários ambientes. O veículo consiste em porções não voláteis e voláteis. O não volátil inclui resinas, que se tornam o agente de ligação na película curada. Após a evaporação da porção volátil, denominada por solvente, os não voláteis formam a película real na superfície juntamente com o pigmento.

⁴ Substâncias químicas, e seus derivados, que contêm na sua estrutura o elemento carbono e ligações covalentes C-H

3.1 - Pintura de Aeronaves

A pintura é, por vezes, menosprezada por ter à primeira vista um papel meramente estético. Na realidade, esta desempenha uma função crucial na proteção e conservação de equipamentos nos mais diversos ambientes. Este aspeto não pode ter maior importância do que no setor aeronáutico, no qual uma aeronave está exposta às mais severas condições climáticas e de operação que impõem variações de temperatura e pressão, tensões e poluentes que variam consoante a área geográfica (Andrews, 2013).

Deste modo, o controlo inadequado ou a falta de prevenção contra a corrosão de metais ou outras formas de deterioração de superfície, como em compósitos, é dispendioso e pode reduzir a vida útil de uma aeronave, impedindo a realização de missões e colocando em risco a tripulação envolvida (Anti-Corrosion Methods and Materials Vol. 1, 1954). Para aumentar a sua capacidade de resistir a ambientes adversos, as superfícies são protegidas de várias formas e com uma diversidade de materiais.

Atualmente, um esquema de pintura típico tanto em aeronaves militares como em civis, inclui um pré-tratamento aplicado nas secções em alumínio através da formação de um filme de conversão (cromatação) ou, em alternativa, caso requerido pelo fabricante, um revestimento designado de pré-primário (*washprimer*). Ambas as hipóteses são à base de cromatos e não se aplicam a superfícies em compósito.

Posteriormente, aplicam-se os revestimentos orgânicos: o primário (*primer*) e a tinta de acabamento (*topcoat*) (ver Figura 5). O primário, de base resina epóxi ou poliuretano, serve para preencher qualquer irregularidade na superfície, fornecer proteção contra corrosão em metais e melhorar a aderência à tinta de acabamento, de base resina poliuretano ou polisulfito, que será aplicada posteriormente (Robins AFB, 2017).

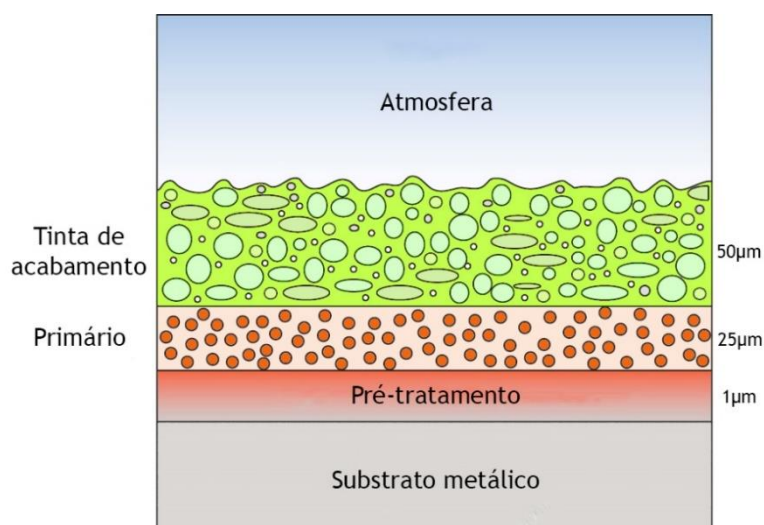


Figura 5 Esquema de pintura típico aplicado a metal (Johnson & Bliss, 2006) adaptado.

A porção de pigmentos nos primários para metais ferrosos geralmente consiste em óxido de ferro (Fe_2O_3), cromato de estrôncio (SrCl_2), cromato de zinco (Z_nCrO_4), óxido de zinco (Z_nO) ou uma mistura destes. O cromato de zinco ou estrôncio é o pigmento principal em primários usados em alumínio, magnésio e as suas ligas. Apesar dos primários serem satisfatórios para proteção contra corrosão de metais, geralmente não são adequados como acabamentos. Cor, propriedades contra intemperismo⁵ ou durabilidade física podem ser insatisfatórios, e por estas razões, os primários requerem proteção de uma tinta de acabamento (Robins AFB, 2017).

Esta última camada, diretamente visível, tem a função de proteger a aeronave conferindo dureza, brilho e resistência ao clima, podendo possuir também características específicas de modo a tornar a aeronave indetetável aos radares de forças inimigas, no caso das militares (SERDP, 1990). Pode ainda ser aplicada uma camada de verniz (*clearcoat*), de base poliuretano, de modo a conferir um brilho mais duradouro (Robins AFB, 2017).

A seleção dos produtos, o número de camadas e o tipo de revestimento a aplicar, têm em conta o formato do componente ou estrutura, o material utilizado na sua manufatura e o dos componentes adjacentes, assim como as condições ambientais de operação. Cada sistema de pintura é diferente pois deve atender a funcionalidades individuais e padrões de desempenho específicos (GCCA Consortium, 2017).

A espessura das diferentes camadas no substrato (medida em microns) também é crucial para o melhor desempenho de todos os componentes pintados de uma aeronave. O objetivo é obter o máximo desempenho com a menor espessura pois esta equivale peso, que é um fator crítico para a eficiência de combustível das aeronaves. Não atender aos requisitos especificados deste parâmetro pode levar a deficiências noutras características dos componentes, como por exemplo, redução da resistência à corrosão, aderência inadequada de revestimentos ao substrato ou diminuição de resistência a fissuras superficiais (CCST Consortium, 2017).

3.1.1 - Crómio hexavalente

Compostos de crómio hexavalente são aqueles que contêm o elemento crómio no estado de oxidação +6. Cromatos, os quais são compostos de Cr(VI), são utilizados neste setor em tratamentos de superfície (cromatação) e primários, devido às suas propriedades anticorrosivas, ilustradas da Figura 6.

⁵ Processo natural de decomposição ou desintegração por ação dos efeitos físicos, químicos e biológicos, que resultam da sua exposição aos agentes externos (atmosfera terrestre, água, organismos).

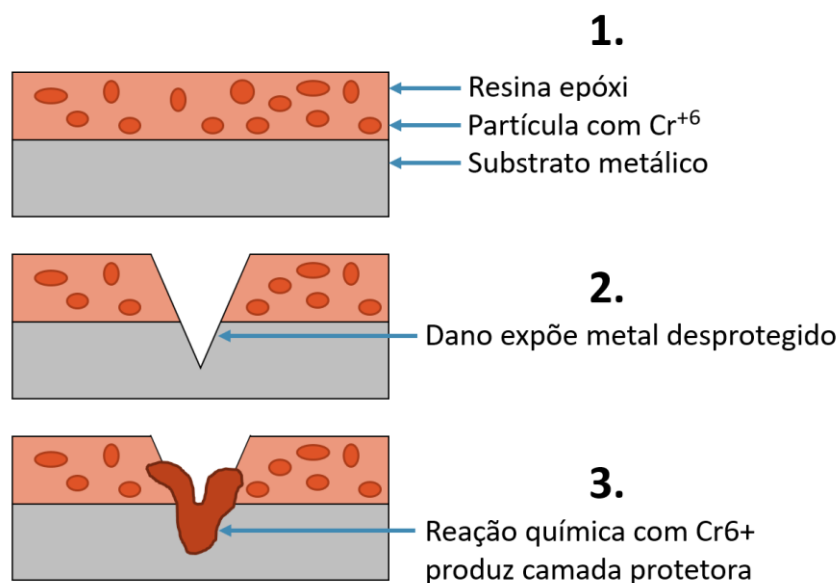


Figura 6 Ação anticorrosiva do cromato (apenas primário e substrato representados) (GCCA Consortium, 2017) adaptado.

Em primeiro lugar, tem a capacidade de se combinar com o óxido de metal, que ocorre naturalmente no substrato, para formar uma camada de óxido de crómio. Como esta camada encontra-se por cima do metal, evita que o oxigénio entre em contacto com substrato, fornecendo assim uma camada de inibição de corrosão.

Em segundo lugar, caso a camada de óxido de crómio seja danificada, e após a criação de uma fina camada de óxido metálico nessa zona, o ião Cr(VI) na sua forma hidratada, difunde-se na região danificada e restabelece uma camada inibidora de corrosão, embora menos eficaz do que a anterior. As áreas próximas da região danificada ficam pobres em Cr(VI), o que reduz consequentemente a resistência contra a corrosão na área adjacente. No entanto, este mecanismo de difusão opera continuamente, o que permite a difusão adicional de iões Cr(VI) de áreas mais distantes para a área esgotada. Este processo dinâmico representa a característica de autorregeneração que até hoje parece ser exclusivo do Cr(VI) (GCCA Consortium, 2017).

As propriedades anticorrosivas descritas, a alta aderência ao substrato e subsequentes camadas de revestimento, bem como a relação entre a eficiência e a concentração superior a outros compostos, fazem com que o cromato tenha um papel fundamental na proteção contra corrosão em sistemas de pintura na indústria aeronáutica (GCCA Consortium, 2017).

3.2 - Pintura de manutenção

Apesar dos esquemas de pintura serem projetados para resistir a diversos meios, como o marítimo, terrestre e aéreo, estes não são eternos. Os agentes ambientais (físicos, químicos, biológicos, etc.) presentes nestes meios, ao fim de alguns anos de voo (variável consoante a

hostilidade do meio em que voam e a quantidade de horas de voo a que são submetidos), a tinta começa a deteriorar-se (e.g. fissuras, escamação, falta de aderência) perdendo a sua eficiência de proteção (Joseph, 1999) (Robins AFB, 2017).

O efeito geográfico tem uma influência substancial no grau de deterioração dos revestimentos aplicados no exterior das aeronaves. Por exemplo, as elevadas temperaturas no deserto, a atmosfera de alto teor salino e humidade proveniente de ambientes marítimos, fazem com que a pintura se degrade a um ritmo mais acelerado comparativamente com ambientes de clima morno e seco (Andrews, 2013). Esta degradação do esquema de pintura expõe o metal base, deixando-o suscetível a sofrer corrosão por parte dos agentes ambientais, o que pode pôr em causa a integridade estrutural da aeronave e por sua vez a sua aeronavegabilidade (Anti-Corrosion Methods and Materials Vol. 1, 1954).

De modo a prevenir este resultado indesejado, é realizada periodicamente uma remoção integral ou parcial da pintura exterior para inspeção, tratamento de corrosão e manutenção da superfície metálica, aplicando no final um novo esquema de pintura (NAVAIR, 2010).

O processo de pintura de manutenção aeronáutica é considerado um processo especial, devendo o mesmo estar certificado de acordo com a especificação aplicável. Tem por definição, o processo utilizado numa operação ou série de operações do ciclo produtivo suscetível de alterar as propriedades físicas, químicas ou metalúrgicas dos materiais ou produtos inerentes à operação não diretamente detetáveis na sequência normal do processo. A sua complexidade ou criticidade exige procedimentos de implementação e de controlo para além dos habituais e característicos do normal processo produtivo.

Estas intervenções de manutenção de pintura são no âmbito da necessidade de cumprir determinados programas de manutenção planeados durante o seu ciclo de vida, de acordo com as recomendações do respetivo fabricante. No caso das aeronaves comerciais, também podem decorrer no âmbito da remoção de *liveries*⁶ para venda a outros operadores (Magalhães, 2015).

Neste processo de pintura cada etapa é dividida em procedimentos, que devem ser seguidos sequencialmente para garantir a conformidade do processo com os requisitos de qualidade estabelecidos pelos manuais aplicáveis da aeronave.

3.2.1 - Despintura

Numa fase inicial, a aeronave é sujeita a uma pré-lavagem alcalina para remover qualquer presença de óleo, massa ou outras matérias estranhas que possam prejudicar a eficiência do despintor. Posto isto, a despintura pode ser feita de duas formas: mecânica ou química (ver

⁶ Esquemas de pintura e logótipos específicos dos operadores.

Figura 7).

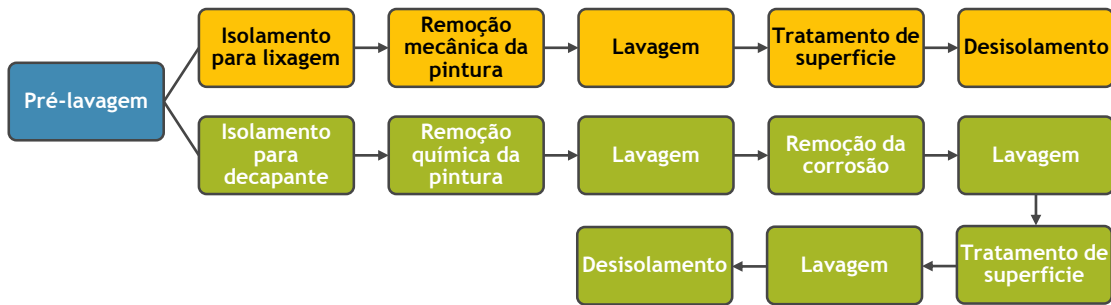


Figura 7 Etapas do processo de despintura mecânica e química (Robins AFB, 2017).

Para a remoção mecânica da pintura (a amarelo na

Figura 7), são efetuados primeiramente testes para analisar a espessura do esquema a substituir. Desta forma, é possível saber a espessura a remover, de maneira a não ultrapassar o limite especificado nos manuais com a aplicação do novo esquema de pintura. Após o isolamento apropriado das zonas a não ser despintadas, é realizada a remoção da pintura por lixagem, seguida de um tratamento de superfície (cromatação) nas regiões mais afetadas pela remoção mecânica.

O tratamento de cromatação tem o intuito de proteger temporariamente a superfície metálica da aeronave. O exterior deste tipo de aeronaves é constituído maioritariamente por ligas de alumínio, sendo que a mais representativa corresponde à Al 2024-T3. Esta liga tem sido exaustivamente documentada pelo facto de ser altamente suscetível à corrosão, nomeadamente, corrosão localizada (*pitting*) e intergranular (Magalhães, 2015).

Nas aeronaves com secções exteriores em compósito, a remoção mecânica é a única via exequível, visto que a utilização de métodos químicos não é autorizada pelos manuais de pintura, dando-se como exemplo a publicação da Força Aérea Norte-Americana TO 1-1-8, e pelos manuais dos fabricantes. Devido à natureza polimérica do material, este reage com os solventes orgânicos presentes nos decapantes químicos, levando à quebra de ligações adesivas entre a matriz polimérica e o reforço fibroso (NAVAIR, 2010).

Ao realizar uma intervenção integral numa aeronave com superfície metálica, a aplicação direta de decapantes químicos é a forma mais viável e simples devido às dimensões e à complexidade da sua estrutura. O processo de remoção de pintura por via química é realizado numa sequência de passos que compreende o isolamento, a remoção da pintura e da corrosão,

e o tratamento de superfície por cromatação, que forma uma película dourada protetora de conversão (denominado *chromate conversion coating* ou *CCC*), como observado a verde na

Figura 7. No fim do processo, a aeronave está pronta para manutenção e posterior aplicação de um novo esquema de pintura.

3.2.2 - Pintura

Ao regressar da manutenção, a aeronave é submetida novamente a um processo de isolamento e lavagem alcalina, seguido de um novo tratamento de cromatação para reativar a superfície. Posteriormente, substitui-se este isolamento por um próprio para pintura, definido pelo desenho correspondente à aeronave, nomeadamente áreas com reservas de pintura e todas as partes que possam ser danificadas durante este processo. Por fim, é feito um desengorduramento com solvente, o que prepara a superfície para receber o novo esquema de pintura, de acordo com o requerido na documentação técnica aplicável.

Para o processo de repintura de uma aeronave é imperativo conhecer qual o esquema de pintura presente nesta e repintá-la ou com o mesmo esquema ou com um que seja compatível. Isto advém do facto dos esquemas de pintura não serem todos compatíveis entre si, podendo em casos extremos levar a defeitos graves como falhas de aderência ou reações entre os produtos de pintura antigos e os novos. Desta forma, é favorável garantir a utilização de tintas de acabamento e primário do mesmo fabricante.

Os produtos de pintura utilizados (base, endurecedor e diluente, quando aplicável) são controlados mediante as informações presentes na sua TDS⁷, como respetivo PVU⁸, P/N dos componentes e proporções da mistura. Adicionalmente, há que verificar se o aspeto do produto é uniforme e homogéneo, isento de grumos ou sedimentos. Para além destas condições referidas, é necessário também garantir que a viscosidade da tinta, após a mistura de todos os componentes, está de acordo com a TDS aplicável, através de medições em viscosímetros.

Antes das operações de pintura e caso seja requisito do manual da aeronave, deverão ser efetuados ensaios em painéis (provetes) do mesmo material que a superfície desta, com a finalidade de testar os produtos e afinar o método de aplicação dentro das condições ambientais em que a aeronave irá ser pintada. Quando for obtido um resultado satisfatório quanto à aparência, espessura e aderência, é iniciada a operação de pintura, ilustrada na Figura 8.

⁷ *Technical Data Sheet*

⁸ Prazo de Vida Útil



Figura 8 Etapas do processo de pintura (Robins AFB, 2017).

O método geral de aplicação de pintura é por pulverização, no qual a tinta é atomizada para formar pequenas partículas e ser depositada na superfície a ser revestida, produzindo assim uma película suave e uniforme (OSHB LD, 2003).

Existem as seguintes pistolas para pintura por pulverização:

- **Convencional** - utiliza ar comprimido para atomizar a tinta;
- **Airless** - utiliza apenas pressão hidráulica para atomizar a tinta;
- **Airless assistida a ar** - de modo semelhante à *Airless*, mas acrescenta ar comprimido no bico da pistola para melhor controlar o padrão de tinta projetado;
- **HVLP - High Volume Low Pressure**, utiliza um alto volume de tinta e uma baixa pressão de ar comprimido para aumentar a eficiência de transferência.
- **Eletrostática** - de modo semelhante à *Airless* assistida a ar, mas impõe uma carga eletrostática nas partículas atomizadas, atraindo a tinta para o componente ligado a terra;

Adicionalmente, cada uma destas pistolas é classificada em três tipos: alimentação por sucção ou gravidade, onde o depósito de tinta encontra-se por baixo ou por cima na pistola, respetivamente, e alimentação por pressão, em que a tinta é fornecida à pistola através de um depósito externo. Aplicações a pincel limitam-se a retoques e zonas inacessíveis à pistola (Robins AFB, 2017).

A aplicação do primário é efetuada ao se apurar: condições ambientais de humidade relativa de 35 a 75% e temperatura de 15 a 35°C (salvo outra exigência contratual especificada na documentação técnica aplicável); meios de proteção e segurança (filtração, ventilação, proteção pessoal); e o diâmetro do bico e pressão de atomização da pistola sejam os indicados (Robins AFB, 2017).

Em termos da movimentação da pistola, a Figura 9 apresenta os aspetos principais a ter em conta, nomeadamente o facto de ser imperativo manter a pistola perpendicular à superfície em todos os momentos, cumprindo uma trajetória linear. Se isto não for executado, o padrão de pulverização formado irá produzir uma espessura desigual, o que por sua vez causará uma secagem irregular (Robins AFB, 2017).

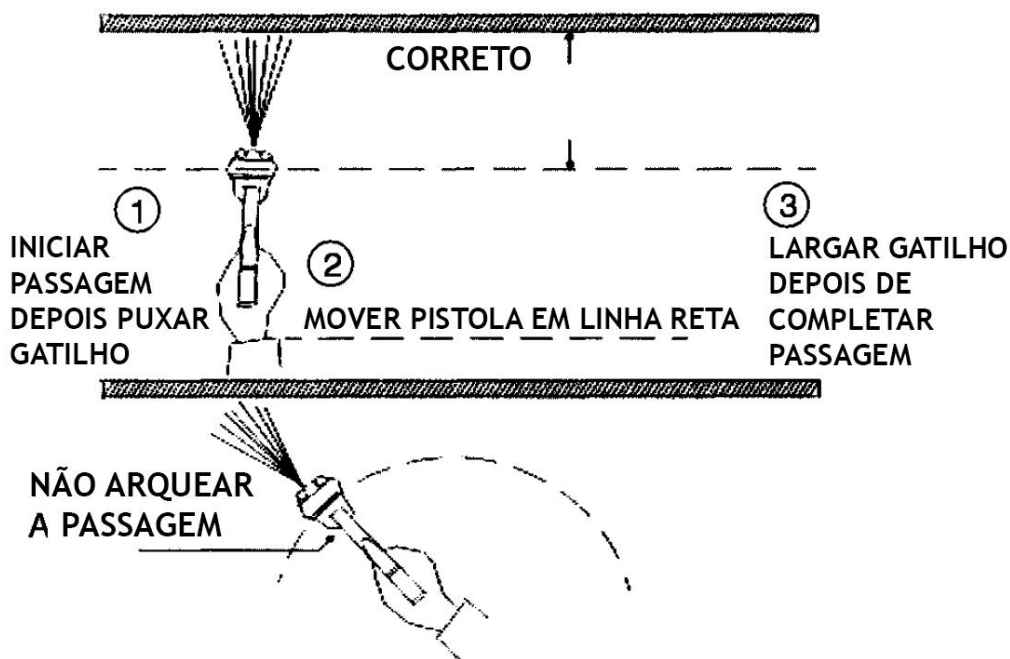


Figura 9 Movimentos da pistola de pintura (Robins AFB, 2017) adaptado.

A velocidade de passagem do produto a aplicar tem de ser uniforme, de modo a produzir uma camada de material totalmente húmida e contínua. As passagens aplicam-se paralelas umas às outras, com uma sobreposição de 50%, de forma a que o centro do padrão projetado atinja a borda inferior húmida da passagem anterior. Para assegurar uma boa integridade e uniformidade do revestimento, a técnica de sobreposição cruzada é a mais eficaz e utilizada ao aplicar esquemas de pintura. Esta é obtida ao aplicar uma camada fina com passagens de sobreposição a 50% e imediatamente a seguir outra igual na direção oposta, formando um ângulo de 90° (ver Figura 10) (Robins AFB, 2017).

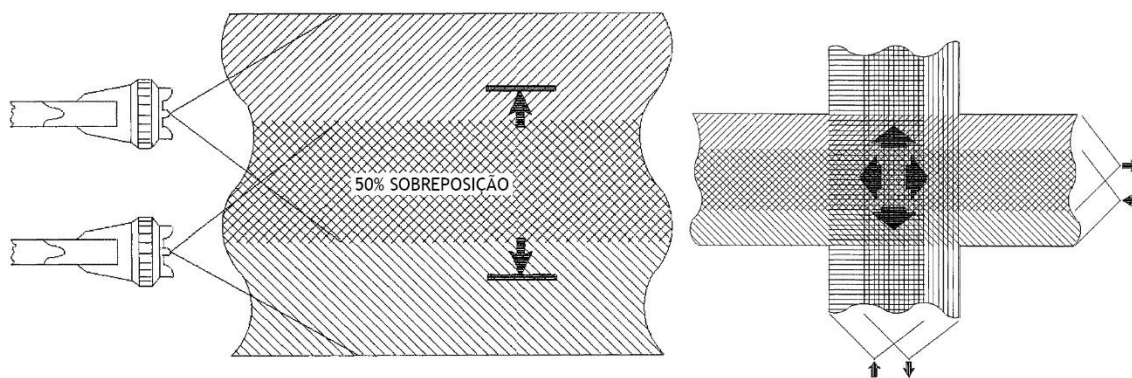


Figura 10 Pintura de sobreposição a 50% e de sobreposição cruzada (Robins AFB, 2017) adaptado.

A secagem das superfícies pintadas pode ser efetuada à temperatura ambiente ou por secagem forçada, numa estufa, devidamente calibrada e validada pela Engenharia de apoio responsável pelo processo.

Após esta fase, são efetuados um conjunto de testes de inspeção para averiguar a qualidade da pintura aplicada. A medição de espessura da tinta é um processo do tipo não

destrutivo, que é feito com um medidor próprio por amostragem em áreas ao critério do operador, as quais deverão ser representativas de toda a superfície pintada da aeronave e estar dentro da gama exigida no manual da aeronave. São realizados também testes de adesão a seco e a húmido, nos quais um pedaço de fita adesiva apropriada é aplicado na superfície a ensaiar e removido bruscamente, conforme procedimentos da FTPP⁹ aplicável. A pintura satisfará o ensaio se a fita não apresentar vestígios de remoção de tinta da superfície. Logo que todos os testes apresentem resultados válidos, é concretizada a aplicação da tinta de acabamento, repetindo todos os procedimentos a cima descritos.

É necessário ter em conta que a ativação das superfícies que vão receber pintura degrada-se com o tempo, de tal modo que a aderência da última camada aplicada é influenciada pelo grau de ativação da superfície que a recebeu. Assim, é obrigatório o cumprimento da janela temporal entre operações consoante a TDS aplicável. Após a finalização dos trabalhos de pintura, deve ser efetuada uma inspeção geral à superfície da aeronave antes da entrega ao cliente, incidindo na coloração, brilho, rugosidades, escorridos, riscos e localização de letreiros, marcas e insígnias.

3.3 - Regulamento REACH

O REACH é um Regulamento (n.º 1907/2006) da União Europeia relativo ao Registo, Avaliação, Autorização e Restrição dos produtos químicos, que entrou em vigor no primeiro dia de junho de 2007 (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012).

Este Regulamento surgiu com o objetivo de melhorar o quadro legislativo comunitário em matéria de substâncias químicas, ao substituir cerca de 40 normativos por um único instrumento legislativo (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012).

Adicionalmente, foi criada a Agência Europeia dos Produtos Químicos, denominada pela sigla ECHA, com o intuito de responsabilizar uma entidade europeia pela soberania na aplicação técnica e administrativa do Regulamento. A nível nacional, as autoridades competentes para a aplicação deste regulamento são a Agência Portuguesa do Ambiente, a Direção-Geral das Atividades Económicas e a Direção-Geral da Saúde.

3.3.1 - Objetivos e medidas

A legislação europeia relativa às substâncias químicas, aplicável às empresas, existente desde 1967, mostrou-se pouco eficaz nos objetivos que prosseguia. Pouco se conseguia saber sobre os riscos associados às substâncias químicas. Por outro lado, muitas das informações existentes permaneciam nas empresas, não existindo qualquer mecanismo automático de

⁹ Ficha Técnica de Produto de Pintura - formulário interno preenchido com informação proveniente da ficha técnica do produto do fabricante e/ou do manual da aeronave.

comunicação dos riscos das substâncias aos seus clientes ou a sua divulgação pública (Direção-Geral das Atividades Económicas, 2012).

Neste contexto, a União Europeia desenvolveu estudos para a revisão desta legislação. Durante este processo, a pesquisa da União Europeia sobre os potenciais benefícios para a saúde ocupacional resultantes da implementação da nova regulamentação estimava que as melhorias na segurança ao longo do ciclo de vida dos produtos químicos poderiam evitar até 40000 casos anuais de asma (50% dos casos de doenças de trabalho), igual número de casos de dermatite e 10000 casos de Doença Pulmonar Obstrutiva Crónica. Adicionalmente, a Comissão Europeia previu que poderia prevenir cerca de 4300 cancros profissionais por ano. Ao todo, o regulamento REACH iria economizar 50 mil milhões de euros na prevenção de doenças ocupacionais ao longo de um período de 30 anos (Wilson & Schwarzman, 2009).

O Regulamento REACH veio estabelecer uma nova abordagem no controlo de produtos químicos, ao impor às empresas dos mais diversos campos industriais a obrigação de reunir, produzir e difundir informações sobre as propriedades e os riscos de utilização das substâncias químicas, para que sejam utilizadas assegurando a máxima proteção da saúde e do ambiente. Este regulamento promove igualmente métodos alternativos para a avaliação dos perigos das substâncias tendo em vista a redução do número de ensaios em animais (ECHA, 2014).

De forma mais explícita, cada substância fabricada ou importada dentro da União Europeia e do EEE¹⁰ em quantidades a partir de 1 tonelada por ano tem obrigatoriamente de ser registada na base de dados da ECHA, sob pena de a sua utilização ser negada ou restringida. No fundo, o que se pretende é que uma determinada cadeia de abastecimento de produto possua a informação detalhada das substâncias químicas (primordialmente a informação de segurança) inseridas ao longo dessa mesma estrutura de forma a ser disponibilizada para consulta em qualquer momento desejado, isto é, conhecer e dar a conhecer todas as propriedades dos compostos químicos, impondo uma atenção especial para aqueles que acarretam um perigo maior para a saúde humana e para o ambiente (Parlamento Europeu, 2006).

A Tabela 1 pretende demonstrar de uma forma breve e sucinta o funcionamento do regulamento REACH, isto é, as quatro diferentes etapas fundamentais para a sua plena aplicação.

¹⁰ Espaço Económico Europeu

Tabela 1 Descrição do Regulamento REACH (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012) adaptado.

Etapas	Definição
Registo	Para continuarem a ser comercializadas, as substâncias químicas têm de ser registadas na base de dados europeia gerida pela ECHA.
Avaliação	Elaborado o registo, os produtos químicos são avaliados e os considerados de elevada preocupação (SVHC ¹¹), ou seja, os que apresentam maiores riscos e perigos para o ambiente e saúde humana são direcionados para um procedimento de autorização.
Autorização	As substâncias denominadas SVHC são nesta etapa colocadas numa lista que define um prazo de execução de um pedido de autorização para que o produto intervencionado possa no final desse mesmo período ser utilizado.
Restrição	Por último, algumas substâncias químicas podem acabar por se encontrar restritas ou interditas à sua utilização dentro do EEE.

Um pedido de autorização (AfA¹²) para dar continuidade ao uso de uma determinada substância química posteriormente à data de início da restrição (*sunset date*), tem dois resultados possíveis: (a) a não conformidade do pedido e a conseqüente recusa do mesmo; (b) a aceitação do pedido anexado com uma data de validade, isto é, com um período definido para proceder à revisão da requisição de autorização.

Este procedimento permite assegurar que os riscos associados a essas substâncias sejam adequadamente controlados e que haja uma substituição progressiva por substâncias alternativas, sempre que estas sejam económica e tecnicamente viáveis.

Ao solicitar uma autorização para continuar o uso de uma substância, deve-se sempre confirmar a existência de alternativas e ponderar os riscos para o ambiente e saúde humana, assim como a viabilidade técnica e económica de uma substituição. A autorização só será concedida se se demonstrar que os riscos para o uso em questão são adequadamente controlados ou que os benefícios socioeconómicos compensam os riscos.

¹¹ Substance of Very High Concern

¹² *Application of Authorization*

3.3.2 - Obrigações

O REACH diz respeito e impõe obrigações aos principais atores da cadeia de abastecimento das substâncias químicas a operar no território da União Europeia, sendo estes agrupados pelo regulamento em fabricantes, importadores e utilizadores a jusante (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012).

Cada um destes papéis tem obrigações específicas no âmbito do REACH pelo que a empresa deve identificar em relação a cada substância qual é o seu papel na cadeia de abastecimento e que quantidades da substância estão envolvidas em cada um desses papéis. No caso da OGMA, apenas diz respeito as obrigações impostas a utilizadores a jusante, mais especificamente as dirigidas a utilizadores finais.

Um utilizador a jusante é definido pelo REACH como qualquer pessoa singular ou coletiva estabelecida na Comunidade, que não seja o fabricante nem o importador, e que utilize uma substância, estreme¹³ ou contida numa mistura, no exercício das suas atividades industriais ou profissionais (ECHA, 2006).

Como tal, segundo a (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012), este acarreta as seguintes obrigações:

- Identificar e aplicar as medidas apropriadas para controlo dos riscos expressas na ficha de dados de segurança, ou em outra informação recebida com substâncias ou misturas não perigosas;
- Verificar a conformidade dos cenários de exposição¹⁴ caso o seu fornecedor o providencie;
- Para substâncias sujeitas a autorização para utilização após *sunset date*, verificar se condições da autorização incluem o uso que faz da substância;
- Verificar a conformidade com qualquer restrição aplicada à substância.

Como utilizador a jusante, não lhe é exigido registar as substâncias; no entanto, o registo, efetuado pelo fabricante ou importador, afeta-o da seguinte forma:

- Uma substância não registada deixa de estar disponível no mercado da União Europeia (ausência de registo = ausência de mercado);
- A classificação e rotulagem de algumas substâncias pode mudar na sequência do seu registo, sendo necessário um período de ajustamento;

¹³ Muito puro; que não tem mistura. Termo utilizado pelo Regulamento REACH.

¹⁴ Condições de funcionamento e medidas de gestão dos riscos para o controlo adequado dos riscos para a saúde humana e para o ambiente. Controlo de concentração de substâncias no meio envolvente do operador e tempo de exposição.

- As fichas de dados de segurança são atualizadas com a informação gerada pelo processo de registo de substâncias na base de dados da ECHA. Caso receba um cenário de exposição anexo a uma das fichas, terá obrigações adicionais (verificar se as condições operacionais estão em conformidade com esta).

É importante realçar o facto de que o regulamento não tem um particular objetivo de dificultar socioeconomicamente as condições atuais da maior parte dos intervenientes industriais que utilizam produtos químicos, pretende sim tornar mais seguro o dia a dia laboral, a saúde do trabalhador e obedecer a aspetos ambientais cada vez mais rigorosos. É aceitável olhar para o regulamento REACH como uma ferramenta de incentivo à inovação e desenvolvimento tecnológico como via para alcançar uma competitividade saudável dentro dos mais diversos setores industriais (Associação Empresarial de Portugal, 2010).

Capítulo 4 - Impacto da Regulamento REACH na indústria aeronáutica

Os sistemas aeronáuticos e aeroespaciais são complexos, envolvendo não apenas o desenvolvimento da aeronave em si, mas também o controlo da sua exploração e manutenção para responder a diversos tipos de climas e tipos de serviços prestados (e.g. transporte de passageiros, defesa, espaço). Desta forma, a introdução de um novo componente num sistema estabelecido é complicada e requer um longo período de aprovação, devido à complexa interação entre todos os seus componentes (GCCA Consortium, 2017).

Presentemente o setor aeronáutico enfrenta desafios como resultado da legislação europeia sobre substâncias químicas REACH, Regulamento (CE) n.º 1907/2006. Alguns viram apenas um impacto modesto, enquanto outros setores, como os revestimentos aeroespaciais e de defesa, estão a preparar-se para grandes mudanças no horizonte. Estas incluem restrições sobre substâncias químicas chave (que foram usadas para proteção contra corrosão durante mais de 50 anos), bem como a revisão do conjunto de padrões aeroespaciais (Rowbotham, 2016).

Este capítulo expõe as particularidades do setor aeronáutico, a sua capacidade em cumprir com a Regulamento REACH, assim como o impacto socioeconómico e os esforços realizados para encontrar produtos alternativos. Por fim, enquadra a legislação no panorama da OGMA e explicita o processo a seguir.

4.1 - Especificidades do setor e conformidade com o regulamento

O setor aeroespacial e de defesa tem muitas características específicas, o que pode causar dificuldades em cumprir algumas disposições do REACH. Essas características são, segundo a ASD¹⁵ (2017):

- Séries de produção baixa e longos prazos de produção série (tipicamente de 10 a 30 anos) para uma plataforma única
- Consumo muito baixo de produtos químicos em comparação com outros setores industriais;

¹⁵ *Aerospace and Defense Industries Association of Europe*

- Necessidade de manter os produtos em condições operacionais ao longo do seu extenso ciclo de vida (30-50 anos);
- As cadeias de abastecimento que são internacionais e altamente complexas, ao manter *stock* por longos períodos de tempo, revender e reutilizar *refurbished assets*¹⁶;
- Fabricação de objetos extremamente complexos tanto para plataformas produzidas pelo Fabricante de Equipamentos Originais (OEM), por exemplo o fabricante de avião, como para sistemas e subsistemas de alta complexidade desenvolvidos e produzidos por fornecedores especializados;
- As entidades envolvidas na manutenção de aeronaves de grande porte ou de aeronaves utilizadas no transporte aéreo comercial, bem como dos componentes destinados a instalação nas mesmas, devem ser certificadas em conformidade com os requisitos técnicos da regulamentação de manutenção conhecida por EASA Parte 145 (ANAC, 2014);
- Aspectos especiais de confidencialidade, especialmente no setor militar (apenas a nível nacional, classificação de informações como segredo);
- Dependência de certas substâncias para assegurar segurança de voo como crómio hexavalente, incluído nas SVHCs.

4.1.1 - Processo de aprovação

A indústria aeronáutica tem de cumprir os requisitos de aeronavegabilidade derivados do Regulamento da UE n.º 216/2008 na Europa, e com requisitos de aeronavegabilidade semelhantes em todos os países onde os produtos aeronáuticos são vendidos. Todos os componentes, desde assentos a parafusos, equipamentos, materiais e processos incorporados numa aeronave, cumprem funções específicas e devem ser qualificados, certificados e industrializados antes de entrarem em produção (ver Figura 11). Se uma substância utilizada num material, processo ou componente precisar ser trocada, este extenso procedimento deve ser seguido de forma a estar em conformidade com os requisitos de aeronavegabilidade (ECHA-EASA, 2014).

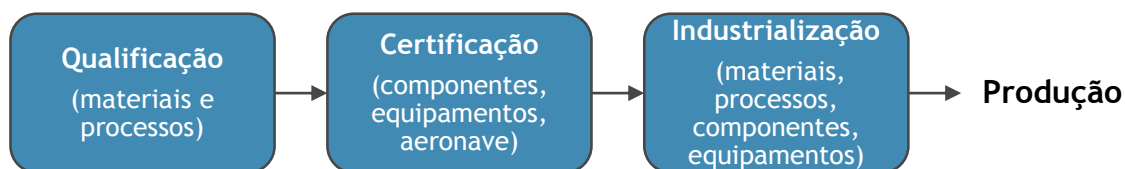


Figura 11 Processo de qualificação, certificação e industrialização (ECHA-EASA, 2014) adaptado.

¹⁶ Manutenção e/ou renovação de equipamentos antigos ou danificados para trazê-los para uma condição funcional.

A qualificação precede a certificação e é o processo sob o qual uma organização determina que um material, processo, componente ou equipamento atendeu ou ultrapassou os requisitos de desempenho específicos, conforme documentado numa especificação técnica. Essas especificações, geralmente abreviadas como “spec(s)”, contêm requisitos de desempenho explícitos, métodos de teste, testes de aceitação e outras características que são baseadas nos resultados de pesquisa, desenvolvimento e experiência anterior do produto (ECHA-EASA, 2014).

Certificação é o processo sob o qual se determina que uma aeronave, componente ou equipamento da mesma atenda à segurança, desempenho ambiental (ruído e emissões) e quaisquer outros requisitos contidos nas regulamentações de aeronavegabilidade aplicáveis, como inflamabilidade, resistência à corrosão, etc (ECHA-EASA, 2014).

A industrialização é uma metodologia extensa, constituída por vários passos, seguida para implementar um material ou processo qualificado na manufatura, cadeia de fornecimento e operações de manutenção, levando à certificação final do produto aeroespacial. Isto inclui negociação com fornecedores, investimento na implementação de processos e auditoria final, a fim de qualificar a entidade responsável para o processo qualificado (ECHA-EASA, 2014).

Este processo de aprovação é assim longo e com muitas etapas distintas, sendo considerado desde a pesquisa inicial da tecnologia até à demonstração da mesma em ambiente de laboratório. As etapas seguidas pelos OEMs na indústria aeroespacial assemelham-se à estrutura dos *Technology Readiness Levels* (TRL) e *Manufacturing Readiness Levels* (MRL), sendo o primeiro originalmente desenvolvido pela NASA¹⁷. Os OEMs geralmente adaptam esta abordagem de TRL e MRL, o que dá origem a versões particulares que são consideradas confidenciais. A versão da NASA é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 Visão geral dos Níveis de Prontidão Tecnológica (TRL) (Gil, Andrade, & Costa, 2014) adaptado.

TRL Nº	Título do Nível	Descrição
1	Observação e registo dos princípios básicos	Nível mais baixo de maturidade tecnológica. Neste nível a pesquisa científica começa a ser transferida para investigação aplicada e desenvolvimento. Ex: estudos das propriedades básicas dos materiais.
2	Conceito tecnológico e/ou aplicação formulada	Início da atividade inventiva. Neste nível a aplicação é ainda especulativa, não existindo uma prova ou uma análise detalhada que suporte a conjectura. Por exemplo, a seguir à observação de uma determinada característica de um material podem ser definidas potenciais aplicações, em forma de estudos analíticos.
3	Função crítica analítica e experimental e/ou prova do conceito característico	Início da atividade de investigação e desenvolvimento. Isto inclui estudos analíticos para ajustar a tecnologia a um certo contexto e estudos laboratoriais para validar fisicamente se as previsões baseadas nos resultados analíticos estão corretas. Estes estudos e experiências devem constituir uma validação do tipo “prova do conceito” das aplicações/conceitos formulados no nível anterior. A concretização das ideias pode depender de um novo material.

¹⁷ National Aeronautics and Space Administration

TRL Nº	Título do Nível	Descrição
		Ex: integração de novos componentes que não existiam previamente.
4	Validação do componente e/ou equipamento em ambiente laboratorial	Devem ser integrados elementos tecnológicos básicos até serem atingidos os níveis de desempenho desejados. Esta validação, de “baixa fidelidade” deve suportar o conceito formulado anteriormente e deve também ser consistente com os requisitos das potenciais aplicações do sistema. Ex: ensaio de algoritmos correspondentes ao comportamento de um material.
5	Validação do componente e/ou equipamento em ambiente relevante	Neste nível, a fidelidade do componente testado tem que aumentar significativamente. As aplicações totais devem ser testadas num ambiente simulado ou de algum modo realístico. Várias tecnologias novas podem estar envolvidas na demonstração. Ex: um novo tipo de material com melhores capacidades utilizado numa determinada aplicação em ambiente simulado.
6	Modelo de Sistema/subsistema ou protótipo de demonstração em ambiente relevante (no solo ou no espaço)	Nível importante no que se refere à fidelidade da demonstração da tecnologia em que um modelo representativo ou um modelo/protótipo do sistema será testado em ambiente laboratorial de alta fidelidade ou ambiente operacional, que pode ser real.
7	Demonstração do protótipo do Sistema num ambiente espacial	Requer demonstração do protótipo do sistema no espaço definido para utilização. O protótipo deve estar próximo do caso real ou à escala do sistema operacional planeado e a demonstração tem que ser realizada no ambiente previsto. Pretende-se assegurar a confiança na engenharia e na gestão do sistema. Ex: confirmação do funcionamento de um componente em alto vácuo;
8	Sistema real completo e aprovado em voo através de testes e demonstrações (no solo ou no espaço)	Constitui geralmente o final do desenvolvimento tecnológico do sistema. Prova-se que a tecnologia funciona na sua forma final e nas condições esperadas. Pode incluir a integração de uma nova tecnologia num sistema existente. Ex: teste de um novo algoritmo de controlo num computador que monitoriza um sistema.
9	Sistema real aprovado em voo através de operação em missões bem sucedidas	Todas as tecnologias a serem aplicadas passam por este nível. Em quase todos os casos é o final dos últimos acertos do verdadeiro desenvolvimento do sistema. Este passo permite melhorar o produto para além da programação inicial.

As classificações TRL orientam os engenheiros e gestores na tomada de decisão de quando um produto alternativo em estudo (seja um material ou processo) está pronto para avançar para o próximo nível. No início do processo, especialistas da área estabelecem os critérios básicos e os resultados necessários para avançar de um nível para o outro. À medida que a tecnologia amadurece, outras entidades interessadas são envolvidas e os critérios são refinados com base nos parâmetros de projeto relevantes (GCCA Consortium, 2017).

Da mesma forma, a maturidade dos processos de manufatura é formalmente controlada ao utilizar o processo MRL. Muitas empresas combinam os aspetos dos TRLs e MRLs nos seus critérios de avaliação de maturidade, pois problemas na tecnologia ou na manufatura determinarão a prontidão da produção e subsequente implementação de qualquer nova tecnologia.

A Figura 12 fornece uma visão geral destas fases principais da introdução de um alternativo candidato no hardware de produção, juntamente com prazos médios e entidades envolvidas.

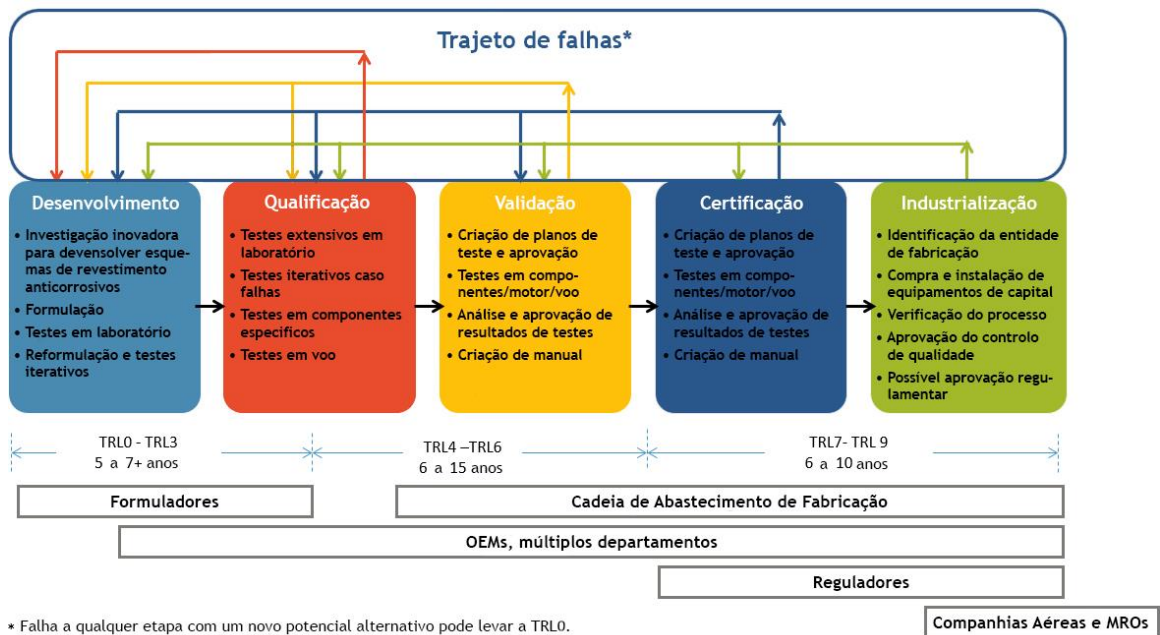


Figura 12 Principais fases da introdução de um alternativo candidato exemplo na produção (GCCA Consortium, 2017) adaptado.

De acordo com CCST Consortium (2017) são necessários cerca de 20 a 25 anos para identificar e desenvolver um novo produto alternativo.

Embora os fabricantes de revestimentos sejam responsáveis por desenvolver e realizar a avaliação preliminar da viabilidade de um potencial alternativo, somente o OEM do sistema ou componente aeroespacial pode determinar quando um alternativo candidato é totalmente validado e certificado para uma das suas aplicações aeroespaciais. Os critérios de teste são determinados caso a caso, ao ter em consideração os requisitos de projeto e desempenho de cada componente no sistema que integram. Testar num ambiente relevante durante um período de tempo apropriado é necessário antes que uma alternativa candidata possa ser qualificada e certificada (TRL7 - TRL9).

Apesar deste processo ser seguido e executado com rigor, ainda assim não há garantias de que a identificação um produto alternativo para uma substância seja bem-sucedido. O insucesso é possível em todas as etapas dos processos de TRL e MRL, pelo que o impacto desta pode ser significativo em termos de tempo.

4.1.2 - Ciclos de vida de produtos em relação aos prazos REACH

Os produtos do setor aeronáutico, espaço, de segurança e defesa são projetados, manufaturados e mantidos para fases de utilização na ordem de décadas: para aeronaves civis

tipicamente 30-40 anos, para aeronaves espaciais cerca de 15-25 anos e para aplicações militares (ar, terra, naval) por 40-50 anos em muitos casos (ver Tabela 3) (ASD, 2017).

Tabela 3 Ciclos de vida típicos no setor aeroespacial e de defesa (ASD, 2017) adaptado.

Tempo/Período em anos	Aeronave Civil	Aeronave de caça	Satélite Telecom	Carro blindado	Fragata
Desenvolvimento	15	15	5	15	15
Produção série	30	20	5	20	20
Fase de uso	30	50	20	50	40

Em comparação com a longevidade dos produtos deste setor (ver Figura 13), existe um forte desfasamento entre os prazos dados pelo Regulamento REACH para interdição das substâncias e o ciclo de vida útil muito longo de produtos e equipamentos no setor aeroespacial e de defesa, abrangidos por processos de certificação, devido a:

- Atualização semestral da Lista das Substâncias Candidatas (CL) semestralmente;
- Possível atualização anual da lista de autorizações;
- *Sunset dates* tipicamente três anos após a inclusão no Anexo XIV¹⁸ e períodos de revisão para concessão de autorizações que variam de 4 a 12 anos).

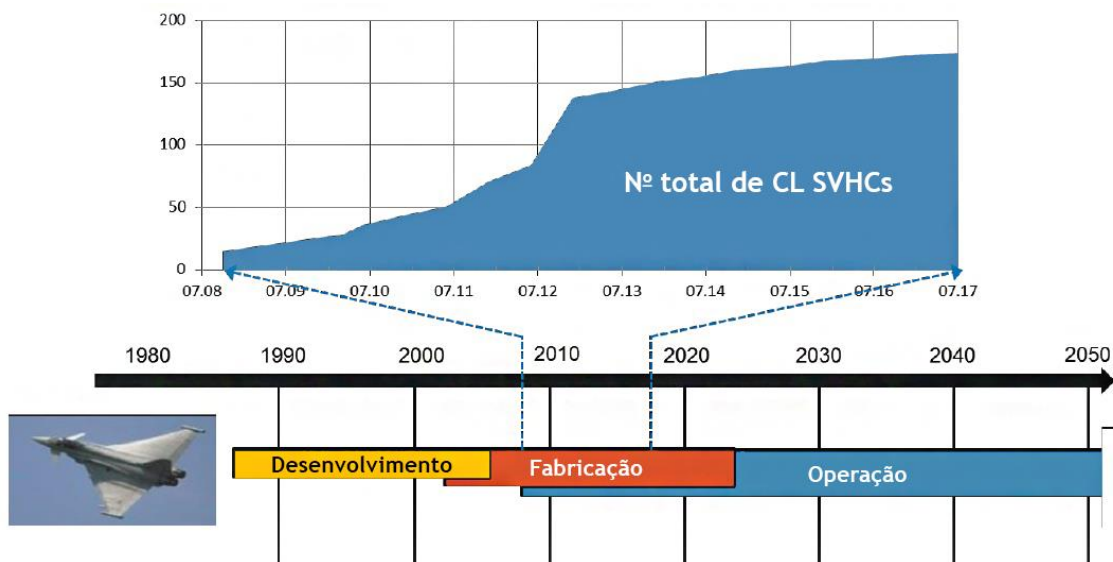


Figura 13 Ciclo de vida de uma aeronave militar em relação ao crescimento da CL (ASD, 2017) adaptado.

¹⁸ Lista de substâncias sujeitas a autorização

Isto leva a desafios significativos de conformidade para empresas que precisam de monitorar continuamente o fluxo crescente de declarações REACH e fichas de dados de segurança (MSDS¹⁹) de fornecedores, a fim de poder declarar CL SVHCs para o produto final extremamente complexo.

É especialmente sentido no caso das operações de manutenção, reparação e revisão (MRO) dos chamados *legacy products*²⁰, ou seja, para produtos cujo suporte técnico já tenha cessado (antes que o REACH estivesse em vigor). Apesar de não serem mais produzidos, esses *legacy products* ainda precisam de ser mantidos, muitas vezes ao usar componentes ou equipamentos de reposição que foram mantidos em *stock* por anos (ASD, 2017).

O artigo 33º do Regulamento REACH estabelece que, imediatamente após a inclusão de uma substância que suscita elevada preocupação na lista de substâncias candidatas (CL SVHC), os fornecedores de peças que contenham essa substância numa concentração superior a 0,1% (em massa) têm de fornecer ao seu destinatário informação suficiente para possibilitar a utilização em segurança das peças (ECHA, 2006).

O que se sucede é que, quando essas peças antigas são posteriormente integradas no produto, a declaração original do artigo 33º fornecida pelo fornecedor é muitas vezes desatualizada, uma vez que podem ocorrer novas atualizações da Lista de Candidatos desde o armazenamento do item. Esta particularidade pode ser constatada na Tabela 4, onde é feita a comparação entre o ciclo de vida de uma aeronave e o crescimento da CL.

Tabela 4 Exemplo de atividades MRO dentro do ciclo de vida de uma aeronave em relação ao crescimento da CL (ASD, 2017) adaptado.

Atividade	Cronograma	Revisão da CL	Nº de SVHCs na CL
Produto Produzido	05/2000	N/A	0
Peça de reposição produzida	09/2011	06/2011	51
Peça de reposição usada em MRO	01/2016	12/2015	168
Produto a passar por várias MROs e atualizações até ao EOS	12/2060	12/2060	>174

¹⁹ *Material Safety Data Sheet*

²⁰ Produtos em que o seu suporte técnico já tenha cessado, mas que se encontram ainda em operação.

4.1.3 - Atividades de MRO

As atividades MRO são frequentemente necessárias para os produtos aeronáuticos, devido à sua longevidade (e necessidade de cumprir com as instruções de aeronavegabilidade continuada) referida anteriormente na Tabela 3. A manutenção destes produtos exige que a organização responsável cumpra com os procedimentos e materiais específicos, descritos nos manuais de manutenção que são emitidos e são da responsabilidade dos OEMs.

A manutenção (programada e não-programada) inclui atividades industriais que utilizam substâncias e misturas (que podem conter CL SVHCs, por exemplo, para proteção contra corrosão de estruturas), bem como a substituição de componentes do produto. Considerando que o uso seguro de substâncias e misturas é coberto pela avaliação e gestão de riscos MRO, orientações sobre o uso seguro de um produto e equipamentos relacionados são fornecidas nos documentos de publicações técnicas na forma de MSDSs, que são disponibilizadas pelo OEM na entrega do produto e devem ser estritamente seguidas pela responsável de MRO (ASD, 2016).

Por exemplo, empresas (tanto de OEM quanto de MRO) no setor de aeronáutico são altamente controladas e reguladas pelas autoridades. Estas precisam atender a uma série de requisitos de projeto, procedimentos de fabricação e manutenção que contêm um alto nível de precisão para garantir a segurança e a aeronavegabilidade (ECHA-EASA, 2014):

- O OEM de produtos aeronáuticos é responsável pela emissão de instruções para a aeronavegabilidade continuada a ser utilizada pelas organizações de manutenção.
- Os operadores de produtos aeronáuticos (civis/militares) devem operar e manter o produto de acordo com as instruções do OEM. Estes podem optar por utilizar organizações de MRO para fornecer manutenção de acordo com programas, procedimentos e processos aprovados;
- Os fornecedores de peças ou equipamentos devem fornecer aos OEMs, operadores de aeronaves (companhias aéreas), ministérios de defesa (MoD) e responsáveis de MRO com instruções em conformidade com suas especificações.

Para produtos *legacy*, acordos de longo prazo estão geralmente em vigor com fornecedores. Quando uma mudança é feita para incorporar um novo produto alternativo, o contrato com o fornecedor precisa de ser renegociado, e custos adicionais são adicionados pelo fornecedor ao modificar ou introduzir um processo de produção. Estes podem incluir a compra e instalação de novos equipamentos, formação de técnicos, qualificação interna do novo processo, qualificação por parte do OEM do fornecedor, certificação de manufatura do fornecedor, etc.

Para além disso, o fornecedor pode precisar de manter a capacidade de utilizar o produto antigo, por exemplo um primário, para outros clientes ou aplicações, o que requer que o fornecedor mantenha linhas paralelas para acomodar ambos os revestimentos.

Um negócio MRO é um prestador de serviços de manutenção, logo, não fabrica novos produtos, no sentido do regulamento REACH. Isso é da competência do fabricante original (OEM). No entanto, o fornecedor do serviço de MRO tem a obrigação de declarar CL SVHCs para cada peça nova ou modificação que este instala no produto ou utiliza na sua atividade. No caso das atividades de MRO levarem à modificação de uma peça, as informações que permitem o uso seguro da peça devem ser comunicadas. A título de exemplo: se uma tinta a ser aplicada numa repintura parcial contiver uma CL SVHC, tal deverá ser mencionado na documentação técnica (ASD, 2017).

4.1.4 - Estruturas complexas e cadeias de abastecimento

Esta secção inclui um exemplo ilustrativo da estrutura de produto de um produto aeronáutico típico (um chamado objeto complexo na terminologia do guia REACH/ECHA), a fim de demonstrar as complexidades que devem ser tidas em conta ao considerar abordagens de conformidade com o REACH, para produtos que potencialmente incluem centenas de milhares de peças individuais em cada etapa da montagem do produto.

A Figura 14 ilustra os diferentes níveis hierárquicos de um produto complexo, como uma aeronave, que são (aumentando o nível de complexidade):

- **CO** - Objetos Complexos:

Este nível mais baixo de complexidade já compreende conjuntos de múltiplas peças, misturas e substâncias. Um exemplo típico para um CO são placas de circuitos impressas. Os COs são tipicamente *Shop Replacement Units* (SRU). Estes podem ser examinados ou reparados extensivamente apenas por fornecedores especializados.

- **VCO** - Objetos Muito Complexos:

O próximo nível mais alto de complexidade, o VCO, é uma montagem de muitos COs, mais peças adicionais (quando aplicável), misturas e substâncias que fazem parte do conjunto maior. Um exemplo típico para um VCO é um computador de voo. Geralmente, os VCOs são *Line-Replacement Units* (LRU). Estes são normalmente substituídos como uma unidade inteira com reparações normalmente feitas nas instalações do OEM.

- **ECO** - Objetos Extremamente Complexos:

Acima do nível do VCO, o ECO é um objeto de grande complexidade, já que consiste em muitas VCOs mais COs, além de outras peças, misturas e substâncias adicionais, que fazem parte da montagem maior. Exemplos notáveis para um ECO são sistemas como o motor, o trem de aterragem, os painéis solares em satélites e similares.

- **SCO - Objetos Super Complexos:**

O último nível mais alto de um objeto com a maior complexidade é o objeto super complexo. Um SCO é montado a partir de muitos ECOs, VCOs, COs e peças, misturas e substâncias. Exemplos de SCOs são os “produtos finais” típicos para o setor aeronáutico e aeroespacial, como aviões, naves espaciais ou veículos de combate blindados.

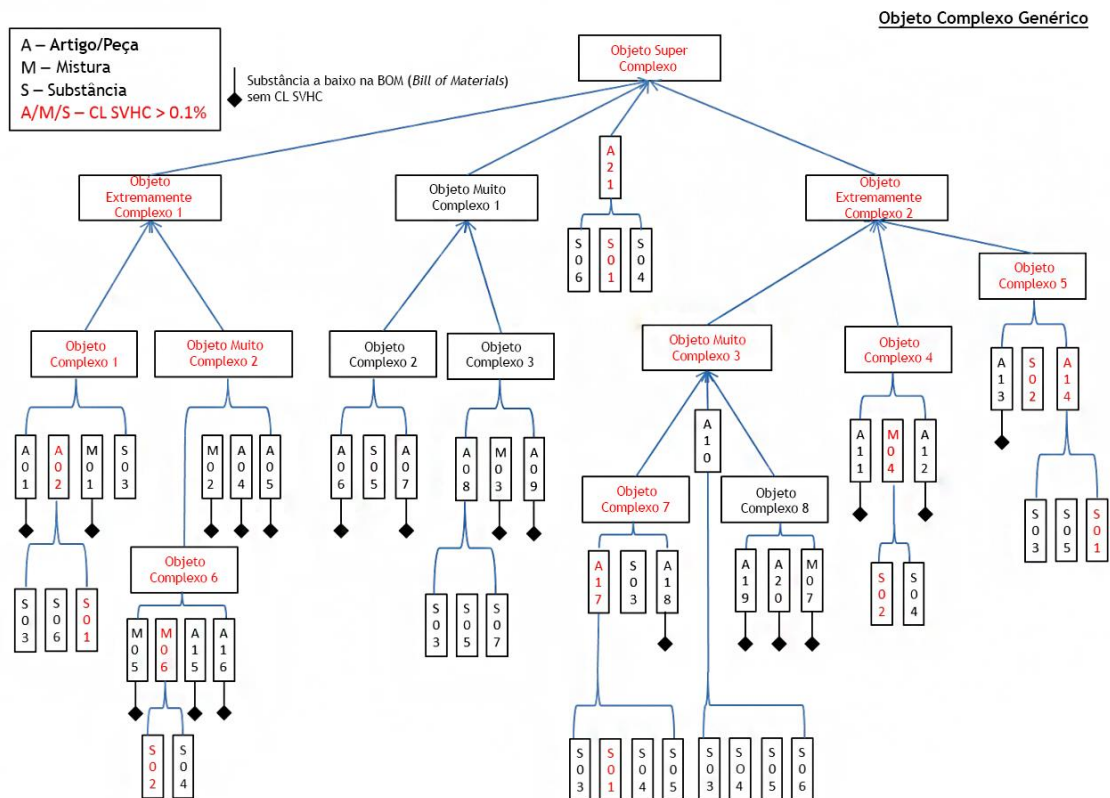


Figura 14 Ilustração teórica da complexidade típica de um produto aeronáutico (ASD, 2017) adaptado.

Na prática, um SCO irá conter apenas um número limitado de CL SVHCs nas peças que o compõem. Estas substâncias poderão ser incluídas durante a fabricação para fornecer um requisito específico de projeto, como maior segurança, vida útil, confiabilidade, capacidade de manutenção ou desempenho do produto, quando não houver outra alternativa viável. Apesar disso, a sua utilização seria de forma a não gerar exposição ao operador do SCO e minimizar os riscos durante a fabricação ou manutenção das peças que contém a CL SVHC, visto que é nesta fase que o risco de exposição é mais elevado.

Em todos os casos, o Objeto Super Complexo (SCO) compreende vários conjuntos de Objetos Complexos (COs), que são normalmente oriundos de uma cadeia de abastecimento complexa. Embora geralmente os produtos aeronáuticos contenham apenas um número muito limitado de CL SVHCs, alguns COs podem incluir CL SHVCs (destacados em vermelho na Figura

14). Quando esses COs são usados para montar o SCO, as autoridades responsáveis pelo artigo 33º, sobre CL SVHCs, podem atuar (ASD, 2017).

Esta estrutura complexa dos produtos aeronáuticos, requer o apoio de um número elevado de fornecedores especializados, o que significa que a cadeia de abastecimento de um produto aeronáutico típico é por sua vez extremamente complexa (ver Figura 15). Uma parte do conjunto de fornecedores é baseada na UE, enquanto outra é de não pertencentes à UE.

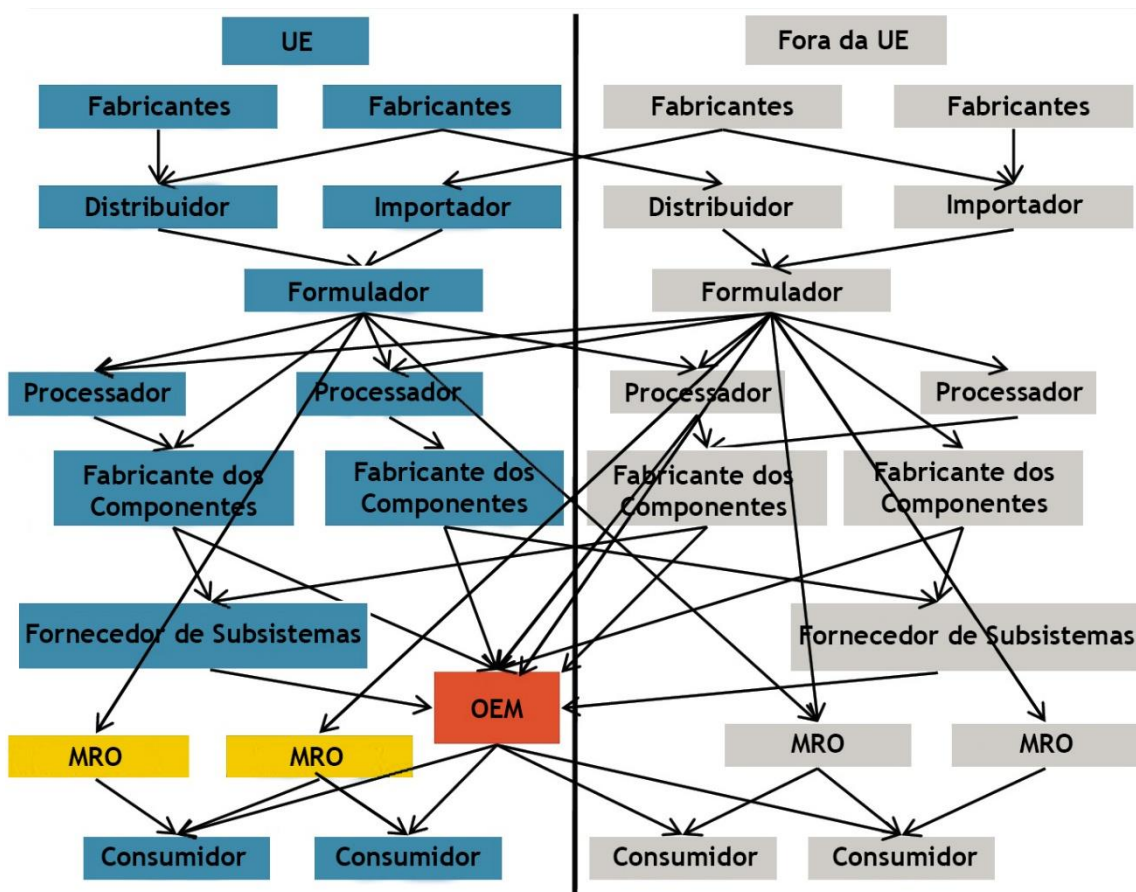


Figura 15 Cadeia de abastecimento típica no setor aeronáutico (ASD, 2017) adaptado.

Quando aplicado à complexidade típica de um produto aeronáutico, como na Figura 16, partes diferentes do objeto super complexo são produzidas por fornecedores distintos (ilustrados por várias cores) e, finalmente, reunidas e montadas no produto final (SCO).

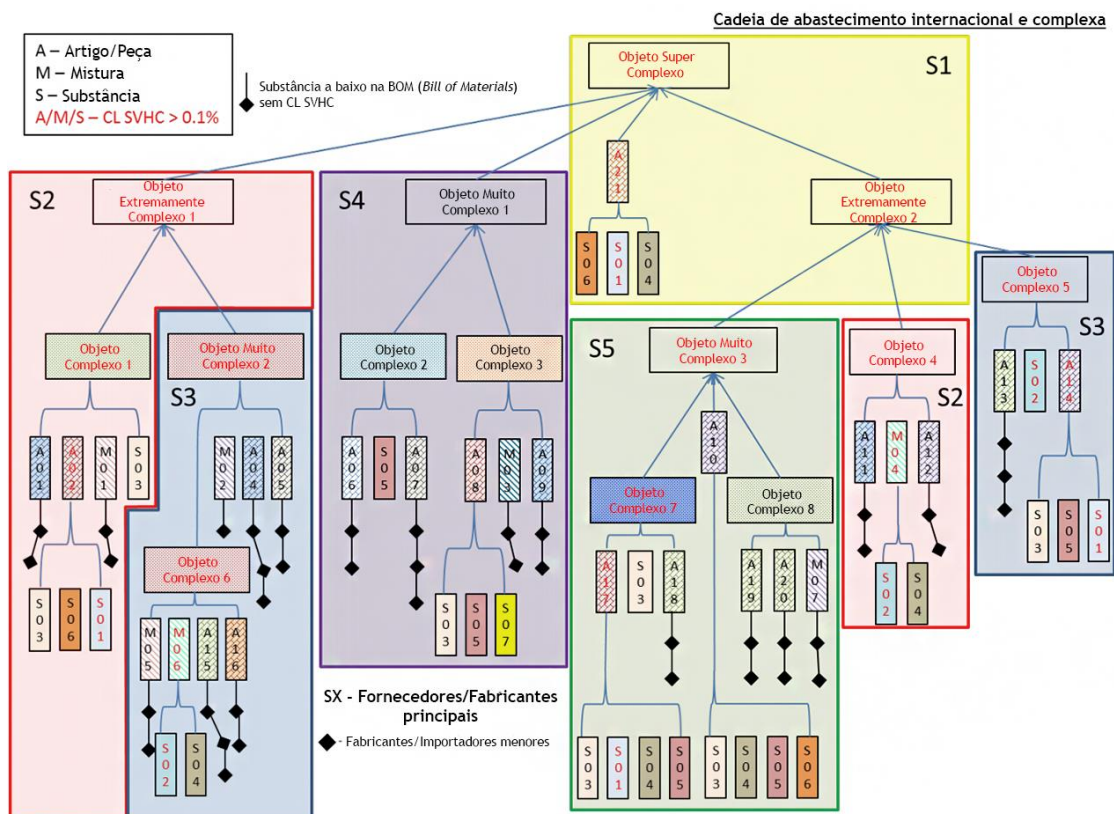


Figura 16 Cadeia de abastecimento para objetos super complexos (ASD, 2017) adaptado.

É de notar que o exemplo mostrado na Figura 16 é muito simplificado e inclui apenas cinco principais fornecedores de CO. O grande número de produtores de peças adicionais, formuladores e fabricantes de substâncias que apoiam estes cinco fornecedores de CO não está representado no exemplo por razões de clareza.

De modo a que o produtor final do objeto super complexo (SCO) possa compreender se há obrigações ao abrigo do artigo 33º do Regulamento REACH, este precisa de tomar conhecimento de quaisquer peças que contenham CL SVHCs numa concentração superior a 0,1% (em massa), em qualquer etapa da montagem do SCO. Dado que uma substância CL SVHC pode estar várias camadas dentro da cadeia de abastecimento e considerando que, na prática, há uma multitude de fornecedores envolvidos na produção de um produto aeronáutico, tornam-se evidente a dificuldade em obter e gerir as informações de todas as peças em objetos e cadeias de abastecimento de elevada complexidade. Esta gestão da documentação é fundamental para a conformidade com o artigo 33º do Regulamento REACH.

As substâncias CL SVHCs devem, em todos os casos, ser declaradas se estiverem presentes acima de 0,1% em peso na peça. As empresas podem utilizar cálculos, testes ou outros meios para determinar este limiar de concentração.

Como o limite de concentração para as substâncias CL SVHCs aplica-se ao componente individual, não há necessidade de calcular ou testar as concentrações de CL SVHC em montagens de nível superior ou no objeto complexo final. Adicionalmente, se uma CL SVHC exceder 0,1% em peso em qualquer peça do componente, a CL SVHC deve ser reportada para o objeto complexo que a contenha, independentemente do peso deste. Isto simplifica o processo de reportar para cada entidade da cadeia de abastecimento (ASD, 2017).

4.1.5 - Documentação técnica do produto

É prática comum para muitos OEMs na indústria de aeronáutica, incorporar dados de materiais perigosos na documentação técnica que é produzida durante o projeto de objetos complexos e soluções de suporte para estes, assim como nas publicações técnicas fornecidas a utilizadores e responsáveis de manutenção. Um exemplo das publicações técnicas que podem ser fornecidas com um SCO pode ser visto em anexo na Figura 32 (ASD, 2017).

Como a substância CL SVHC é um subconjunto de materiais perigosos, os OEMs podem optar por incluí-la na documentação técnica mencionada anteriormente, e comunicar informações nas publicações técnicas de forma a permitir o uso seguro para utilizadores e responsáveis de manutenção, a fim de alcançar a conformidade com os requisitos do artigo 33º do Regulamento REACH.

No entanto, pode não ser apropriado, no caso de objetos super complexos e objetos extremamente complexos, simplesmente encaminhar todas as informações que foram fornecidas com as peças individuais que compõem o objeto em causa. Em vez disso, muitas vezes é necessário que essas informações que permitem a utilização segura sejam primeiro analisadas e agregadas no contexto do SCO, de forma a facilitar a sua compreensão e posterior aplicação.

Para este objetivo, estão disponíveis normas que contêm metodologias e padrões que são úteis na gestão de dados de materiais perigosos que podem ser seguidos voluntariamente, acordados em contrato ou, em alguns casos, por normas (ASD, 2017).

O INCOSE (*International Council of Systems Engineering*) define Engenharia de Sistemas como sendo ‘um campo multidisciplinar da engenharia que torna possível a concretização de sistemas de elevada complexidade’ (INCOSE, 2004).

Ao produzir e operar objetos complexos, múltiplas competências e análises específicas são necessárias para os desenvolver. O foco deste ramo da engenharia encontra-se em definir, de maneira precoce no ciclo de desenvolvimento do sistema, as necessidades do utilizador, bem como as funcionalidades requeridas, ao realizar análises de forma iterativa para detetar rapidamente soluções de *design* inadequadas e reduzir os riscos para o utilizador final.

As análises a seguir podem ser consideradas durante a fase de desenvolvimento para objetos complexos:

- Análise de segurança do sistema;
- Análise ambiental para avaliar e influenciar a solução de *design* identificada;
- Análise de suporte logístico, considerando confiabilidade, manutibilidade e testabilidade;
- Análise de produtividade.

O objetivo destas análises é identificar perigos, analisar e mitigar riscos (incluindo riscos para a saúde e para o meio ambiente) para sistemas complexos. Estas análises resultam em publicações técnicas e manuais para operadores e prestadores de manutenção (ASD, 2017). Um exemplo da metodologia e padrões utilizados é fornecido em anexo na Figura 33.

As informações adicionais do Regulamento REACH para permitir o uso seguro geralmente não são necessárias durante a operação do produto, mas sim durante as atividades MRO e fabricação. Por este motivo, estas devem ser ajustadas ao nível de conhecimento e especialização do pessoal profissional e industrial envolvido em tais atividades.

Como as equipas de MRO estão familiarizadas com as advertências de saúde e segurança existentes nas instruções de manutenção, pode ser suficiente limitar as informações para permitir o uso seguro, ao destacar a presença da substância CL SVHC específica no produto e ao detalhar as suas propriedades intrínsecas. Essas informações também podem ser utilizadas pelos responsáveis da segurança de processos e especialistas em saúde e segurança, para adaptar as medidas de gestão de riscos no respetivo local de trabalho. Exemplos de informação à cerca do uso seguro de CL SVHCs é facultada em anexo na Figura 34 e Figura 35.

A maioria dos produtos no setor de aeronáutico são regulados por legislação específica do produto ou requisitos específicos do setor. Essa legislação específica do produto, muitas vezes, impõe ao fabricante o dever de transmitir informações sobre o manuseio seguro dos produtos aos seus utilizadores. Inclui as substâncias perigosas presentes no produto (cujo alcance é, por regra, mais amplo que o REACH) e contém indicações sobre gestão adequada do risco durante a operação ou atividades MRO (ASD, 2017).

Por conseguinte, pode ser possível, ou integrar as informações para permitir a utilização segura pelo Regulamento REACH na documentação existente do produto, ou toda a informação necessária pode já estar incluída nestes documentos, com base noutras diretivas. Nesses casos, criar documentação adicional será desnecessário.

4.2 - Impacto socioeconómico no setor aeronáutico

Até ao momento, o impacto fundamental do REACH no setor aeronáutico europeu é, nomeadamente a classificação de compostos de crómio hexavalente como substâncias de muito alta preocupação (SVHC) e os subsequentes pedidos de autorização (AfA) em curso para essas substâncias, que são estimados custar até € 5 milhões por substância e por uso. Existem consórcios atualmente a operar neste campo, a preparar e enviar AfAs para produtos químicos de tratamento de superfície para metais, bem como para pigmentos usados em processos de pintura (Rowbotham, 2016).

O consórcio CCST²¹, de 28 fabricantes e utilizadores de tintas aeronáuticas, apresentou várias AfAs para os principais pigmentos à base de cromatos (cromato de zinco e cromato de estrôncio) que solicitam uma autorização de 12 anos (CCST, 2015). Opiniões favoráveis sobre o trióxido de crómio para usos em tratamento de superfície foram confirmadas pelos comités de revisão da ECHA em junho de 2016, no entanto, apenas apoiam períodos de quatro ou sete anos, dependendo do uso. A indústria está, portanto, otimista em como as AfAs solicitadas serão em breve concedidas e que o uso destes cromatos pode manter-se após as suas *sunset dates* (janeiro de 2019 para o cromato de estrôncio) terem expirado.

Uma consequência não intencional, causada pelo processo de autorização do REACH, é o potencial para desestabilizar o mercado, através da perda de condições equitativas. Isso pode surgir, através da concessão de uma autorização a um único fabricante, criando uma situação de monopólio (Rowbotham, 2016).

Outra questão de grande preocupação para o setor, principalmente por motivos económicos, é a restrição de substâncias como resultado da fase final de registo do REACH. Todas as substâncias utilizadas em quantidades superiores a uma tonelada por ano dentro da UE deveriam ter sido registadas na ECHA até junho de 2018. O problema, é que os fabricantes e fornecedores das substâncias químicas base (identificadas por um número CAS²²) não são legalmente obrigados a revelar as suas intenções em relação ao futuro dos seus produtos e os fabricantes de revestimentos estão, na grande parte dos casos, três ou mais ligações a baixo na cadeia de abastecimento.

Isto faz com que as informações atualmente disponibilizadas às autoridades competentes, pelos fornecedores, sejam compreensivelmente limitadas, pois há interesses comerciais e relações de negócio em jogo. O registo de produtos químicos acarreta a libertação de todos os dados químicos e do seu uso. Ou seja, existe um risco alto associado quanto à

²¹ *Chromium VI Compounds for Surface Treatment REACH Authorization Consortium.*

²² Número com um registo único no banco de dados do *Chemical Abstracts Service*, divisão da *Chemical American Society*, atribuído a cada produto químico que é descrito na literatura.

divulgação de informações a cerca de materiais classificados, incluindo materiais LO²³, para atender aos requisitos do REACH. Se qualquer informação for fornecida em sistemas classificados, esta deverá ser feita de tal forma que a química e a estrutura do material não possam ser deduzidas de todas as várias peças de documentação.

Este motivo, assim como outros, contribuiu para que a adesão aos registos inicialmente não fosse a mais alta, como confirmado pela ECHA - anunciou em maio de 2016 que menos de 10% (5.700) registos, dos 60.000 esperados, foram enviados até ao momento, o que equivale a apenas cerca de 3.000 substâncias das 25.000 previstas. Apesar disso, segundo a ECHA, atualmente encontram-se cerca de 19.500 substâncias registadas (2018).

A formulação de um revestimento aeronáutico típico contém de 10 a 20 componentes (intermediários químicos, tais como ligantes, endurecedores e aditivos), no entanto, muitos deles exigem de 5 a 10 ou mais substâncias químicas para a sua produção, resultando numa única formulação de revestimento, potencialmente dependente do registo bem-sucedido no REACH de cerca de 50 a 150 substâncias. Com a perda de apenas uma substância por falta de registo, os fabricantes de revestimentos podem ser legalmente forçados a retirar os principais revestimentos do mercado, o que deixa uma lacuna na capacidade do setor de fornecer proteção abrangente para todos os requisitos aeroespaciais (Rowbotham, 2016).

Outra consequência significativa do cumprimento do Regulamento REACH relacionada ao uso de Cr(VI), é a necessidade de rever e atualizar as especificações utilizadas no setor aeronáutico. O setor necessita de parâmetros de desempenho exigentes e bem estabelecidos para assegurar a proteção contínua das aeronaves. Muitas especificações atuais já não são apropriadas nesta nova era do Regulamento REACH. O desafio reside na revisão e análise das especificações, que custam tempo e dinheiro às organizações apropriadas para atender a essa atividade.

Entidades como o Departamento de Defesa do Estados Unidos da América acreditam que a disponibilidade e competitividade relativas às instalações de MRO dentro e fora da EU também podem ser afetadas. Surge assim a hipótese de que as empresas aeroespaciais considerem mover a manufatura e as operações de MRO para fora da Europa. Embora várias indústrias da UE tenham contemplado transferir as suas atividades de fabricação e distribuição para fora da Europa por causa das imposições do Regulamento REACH, são as MROs de aeronaves que parecem estar mais propícias a fazer a movimentação, segundo a iniciativa *Advanced Surface*

²³ A tecnologia *Stealth* ou LO para "baixa observabilidade", é uma combinação de tecnologias que cobrem uma variedade de técnicas utilizadas em aeronaves, navios, submarinos, mísseis e satélites para torná-las menos visíveis (idealmente invisíveis) ao radar, infravermelho, sonar e outros métodos de deteção.

Engineering Technologies for a Sustainable Defense (AETSDefense) fundada pelo USDOD (2015).

Um responsável pela gestão ambiental corporativa da Lufthansa Technik entrevistado à cerca do documento de posição da AEA (Associação de Companhias Aéreas Europeias) sobre a proposta adição de Cr(VI) ao Anexo XIV em 2013, revelou que a maioria das peças mantidas ou reparadas nas instalações de MRO em Hamburgo da Lufthansa já tinham sido afetadas pelo REACH. Este afirmou que “as companhias aéreas provavelmente levarão as suas aeronaves, motores e componentes para oficinas de manutenção em países fora da UE, como a Turquia e o Egito, que não são confrontados com as imposições do Regulamento REACH” (Aviation Week, 2013).

Assim sendo, o USDOD acredita que este regulamento poderá ter um impacto negativo na economia e no emprego da EU, para além de que, para o USDOD, a realização de MRO em países não-aliados na periferia da Europa poderá representar uma preocupação de segurança significativa (AETSDefense, 2015).

Por outro lado, entidades como a Airbus subscrevem que, uma vez que o REACH garante, em grande parte, produtos “limpos” com um impacto reduzido no ambiente e na saúde humana a longo prazo, os utilizadores para os quais essa é uma consideração importante terão maior probabilidade de adquirir produtos europeus (2009).

Estas divergências em opinião mostram que o setor de revestimentos aeronáuticos enfrenta uma ampla gama de desafios, como resultado do Regulamento REACH, e que ainda não são certos os efeitos socioeconómicos que este poderá vir a ter na UE e no resto do mundo. O certo é que, para que haja progressos no desenvolvimento e que se mantenha um nível satisfatório de estabilidade durante a transição, em termos de garantir o desempenho do produto e, em última análise, a segurança da aeronave, irá exigir um grande esforço, expertise e recursos por parte de todas as entidades.

4.3 - Uso de Cr(VI) na indústria e investigação de produtos alternativos

Os cromatos são utilizados há mais de 50 anos para fornecer proteção contra a corrosão numa variedade de componentes aeroespaciais que operam com elevados padrões de segurança e expostos a ambientes altamente exigentes durante longos períodos de tempo. Os primários, com cromato de estrôncio em concentrações geralmente entre 1 e 25% em massa e cujo consumo médio no setor aeroespacial e defesa é de 10 toneladas por ano, exibem características técnicas particulares (mencionadas em detalhe no capítulo 3) que conferem vantagens substanciais em relação a potenciais produtos alternativos (GCCA Consortium, 2017).

A Tabela 5 mostra exemplos de componentes propícios a corrosão, nos quais são aplicados primários com Cr(VI).

Tabela 5 Exemplos de componentes onde são aplicados primários com Cr(VI) (GCCA Consortium, 2017) adaptado.

Estrutural/voo	Sistemas rotores	Motor	Específicos espaciais e adicionais
Fuselagem	Pás	Unidade Auxiliar de Energia	Lançadores de satélites
Tanques de combustível externos	Cubo do rotor	Unidade de controlo do motor	Alhetas de foguete
Nacelle	Controlador de velocidade	Bomba de combustível	Estágios de foguetes
Amortecedores hidráulicos	Caixa de transmissão	Caixa de velocidades	Radomes
Trem de aterragem		Motor de arranque	Motores de foguete
Aileron		Componentes externos do motor	Mísseis

Na pintura aeronáutica tanto os primários como os pré-tratamentos utilizam, na maior parte dos casos, Cr(VI) para atingir os requisitos de desempenho necessários para conformidade regulatória (ver Figura 17).

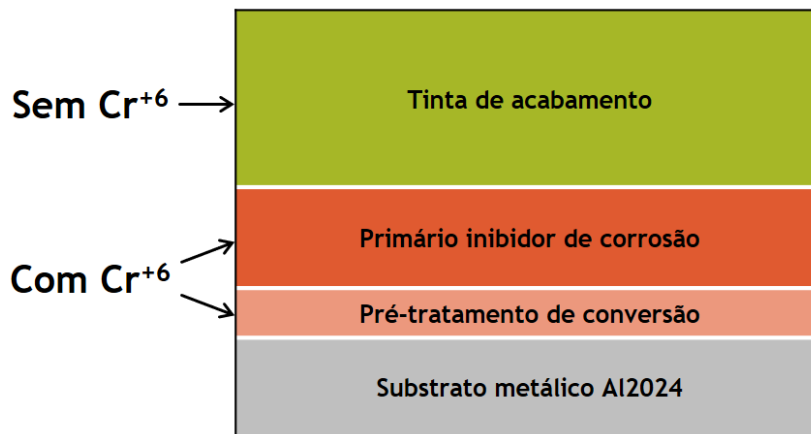


Figura 17 Exemplo de esquema de pintura com Cr(VI) (CCST Consortium, 2017).

Estes produtos de pintura são, geralmente, especificados como parte de um sistema complexo, cuja compatibilidade e desempenho são avaliados como um todo. Isto significa que, embora o uso de cromato de estrôncio (ou um cromato semelhante) possa ser especificado apenas em certas camadas de um esquema de pintura, este não pode ser substituído sem afetar o desempenho do objeto final. Deste modo, o uso de Cr(VI) no processo de pintura de aeronaves tem sido crucial para garantir a qualidade do produto e atender aos requisitos de segurança e desempenho, estabelecidos pelas especificações técnicas.

É importante realçar que, apesar dos atributos do Cr(VI), mesmo em sistemas extremamente desenvolvidos, não é possível garantir que a longo prazo não ocorra corrosão. Décadas de extensa experiência em relação aos impactos da corrosão em esquemas de pintura com Cr(VI), permitiram que a indústria aeroespacial definisse os intervalos adequados para manutenção.

Na eventual ausência de uma alternativa eficaz de produtos sem Cr(VI), a corrosão poderá aumentar, pois estes revestimentos podem não oferecer todas as propriedades cruciais para a proteção de uma aeronave. Embora não seja esperado que os problemas de corrosão apareçam de repente, estes serão espectáveis após vários anos de serviço.

Adicionalmente, uma vez que existe a hipótese de um menor desempenho na proteção contra a corrosão nos revestimentos sem Cr(VI), de modo a evitar falhas, seriam necessários intervalos de inspeção significativamente mais curtos, pois apenas pode ser feita uma estimativa do seu desempenho a longo prazo.

Investigações direcionadas a identificar e desenvolver alternativas ao crômio hexavalente na indústria aeroespacial decorrem desde há mais de 30 anos. As empresas responsáveis por estes estudos avaliam vários fatores ao priorizar os seus estudos de substituição, incluindo, segundo (CCST Consortium, 2017):

- Revisão de todos os processos relevantes que utilizam Cr(VI).
- Determinação da disponibilidade de alternativas candidatas para esses processos.

- Avaliação comparativa de sucessos e fracassos de empresas aeroespaciais com potenciais alternativos.
- Identificação do número de peças que utilizam o revestimento ou processo que poderiam beneficiar desse alternativo.

As principais empresas aeroespaciais, como a *BAE Systems*, a *Airbus*, a *Boeing*, a *Bombardier*, a *General Electric (GE)*, *Raytheon*, *Rolls-Royce* e *United Technologies Corporation (UTC)* trabalham há décadas no desenvolvimento de produtos alternativos livres de Cr(VI), por conta própria e como parte de esforços colaborativos com associações industriais, organizações governamentais e não-governamentais.

Entre várias iniciativas a este respeito, o projeto *Airbus Chromate-Free (ACF)* foi lançado há mais de 10 anos com o objetivo de desenvolver progressivamente novos produtos alternativos livres de Cr(VI) para produtos e processos qualificados utilizados na produção e manutenção de aeronaves. Mesmo antes do lançamento do ACF, os esforços de R&D da empresa incluíam o objetivo de remover o uso de compostos Cr (VI). O projeto ACF está particularmente dirigido a aplicações onde os cromatos são utilizados na produção ou aplicados na aeronave; como pré-tratamentos de superfície, primário e tintas externas. Para além destes, decapantes, selantes, entre outros, estão incluídos no âmbito deste projeto (GCCA Consortium, 2017).

Na *Pratt & Whitney*, divisão da *United Technologies Corporation*, está a ser utilizado um primário livre de cromato de estrôncio em motores *legacy* assim como novos, embora ainda estejam a ser feitos testes para aplicações mais específicas (GCCA Consortium, 2017).

Em 2006, a *Boeing*, em cooperação com o DoD, iniciou um programa de três anos chamado “*Environmentally Benigh Coating System for Department of Defense Substractes*” para o desenvolvimento de novos esquemas de revestimento sem Cr(VI), baseados em revestimentos de conversão com elementos *terra rara*²⁴ (GCCA Consortium, 2017).

A UTC, através do seu *United Technologies Research Center (UTRC)*, concluiu recentemente o trabalho do Projeto WP-2144 da SERDP²⁵ em “*Understanding Corrosion Protection Requirements for Adhesive Bond Primers*”. Neste projeto, testes substanciais em laboratório e no exterior de pré-tratamentos com sol-gel demonstraram que estes revestimentos não conferem resistência a corrosão mensurável a ligas de alumínio aeroespacial.

A *General Electric (GE)*, após vários anos de desenvolvimento e testes, aprovou e implementou dois produtos alternativos de primários sem Cr(VI) usados nos módulos da zona da *Fan dos seus motores*. A *Rolls-Royce* tem um programa em curso que procura substituir o Cr(VI) utilizado em materiais e processos de fabricação e substituiu com sucesso vários processos de fabricação que continham esta substância.

²⁴ *Terras raras* ou *metais de terras raras* são um grupo relativamente abundante de 17 elementos químicos, dos quais 15 pertencem na tabela periódica dos elementos ao grupo dos lantanídeos.

²⁵ *United States Department of Defence Strategic Enviornmental Research and Development Program*

A *Bombardier* tem vindo a avaliar potenciais produtos alternativos de em níveis altos de TRL para primários desde 2012, ao receber adicionalmente financiamento com um grupo de parcerias académicas e industriais para um novo programa de testes que investiga “*Chrome Free Bond Primer Systems*” (CFBPS). No entanto, ainda existem muitas aplicações em que os tratamentos de superfície com Cr(VI) ainda são tecnicamente necessários, mesmo em projetos mais recentes, para atender a requisitos de desempenho de segurança.

Além dos esforços significativos realizados por empresas individuais, diversos programas de pesquisa foram criados sob tutela da *Europe Clean Sky* (MASSPS, ROPCAS, LISA, DOCT, MUST, MULTIPROJECT), bem como programas financiados pela Força Aérea dos Estados Unidos (USAF) e outros programas com financiamento nacional (por exemplo, LATEST no Reino Unido).

Um grande número de consórcios de pesquisa na indústria também foi estabelecido, tais como o *REACH Compliant Hexavalent Chrome Replacement for Corrosion Protection Highly Innovative Technology Enablers for Aerospace* (HITEA). Os membros do consórcio HITEA incluem OEMs aeroespaciais, fornecedores, empresas de aplicação de tintas e parcerias académicas com o objetivo de identificar e avaliar esquemas alternativos adequados.

A Figura 18 fornece uma perspetiva geral do desenvolvimento de produtos alternativos aos esquemas de revestimento baseados até o momento em Cr(VI).

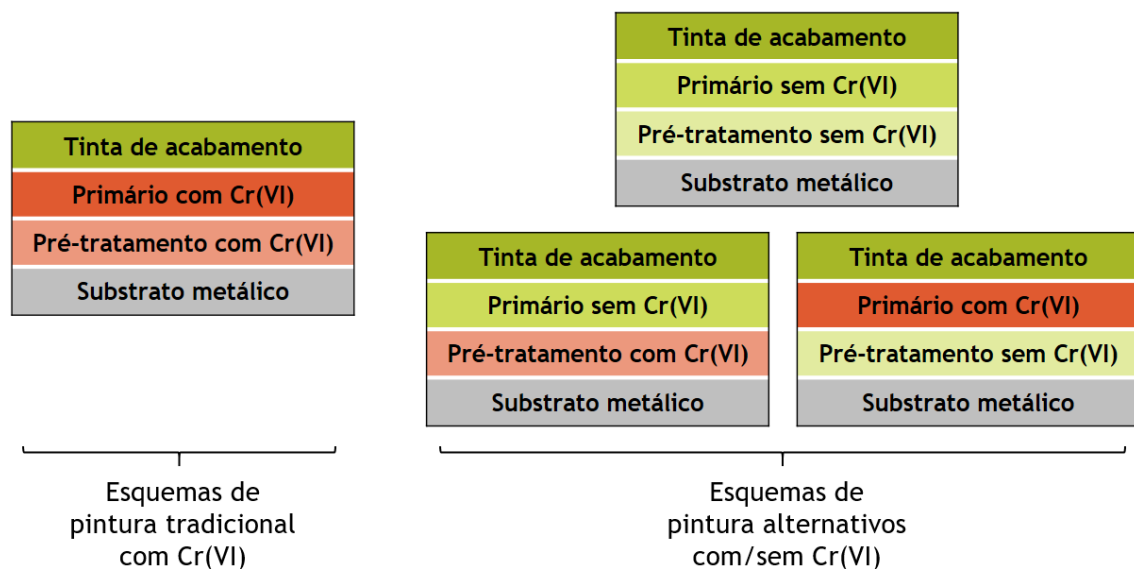


Figura 18 Esquemas de pintura utilizados na indústria atualmente (CCST Consortium, 2017) adaptado.

Os esquemas de pintura alternativos mais comuns incorporam pelo menos uma camada com Cr(VI). No entanto, já existem certos processos qualificados completamente isentos de Cr(VI), atualmente utilizados pela Airbus, fruto do esforço da indústria em encontrar alternativos para sistemas de pintura completos e não apenas para casos isolados. A Figura 19

explicita os compostos que estão no foco das investigações e que já foram implementados como inibidores de corrosão alternativos ao Cr(VI).

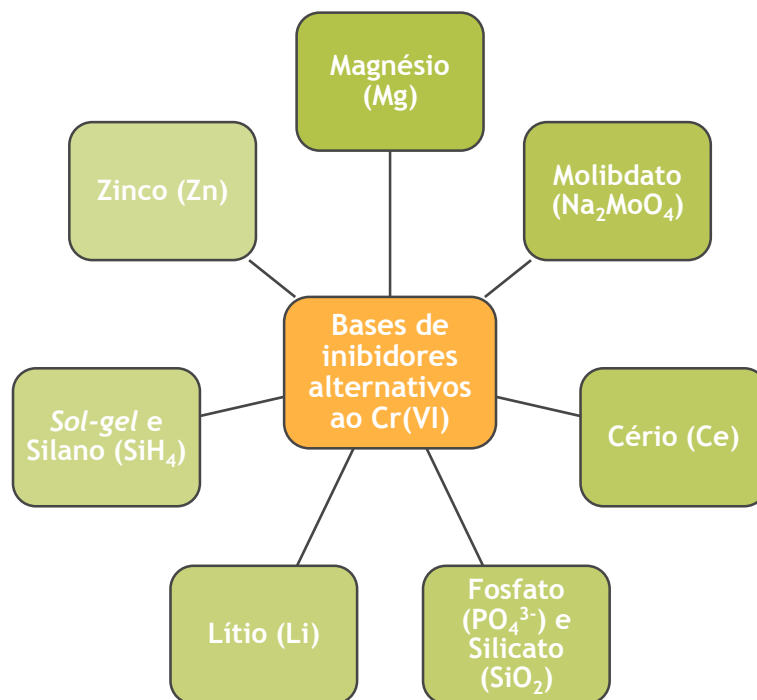


Figura 19 Bases de inibidores alternativos a Cr(VI) adaptado (GCCA Consortium, 2017).

A capacidade de resistência à corrosão destes primários tem evoluído ao longo dos anos. Os primários alternativos com base em Magnésio, por exemplo, já se encontram na 4^o geração lançada para o mercado.

Estudos efetuados à 3^o geração destes primários, indicaram que apresentam uma performance superior no que toca à resistência à corrosão em relação a esquemas de pintura com base em Cr(VI). No entanto, este resultado só ocorria com pré-tratamentos PreKote e BoeGel, que não contêm Cr(VI). Quando os primários de magnésio eram aplicados em tratamentos de cromatação CCC, exibiam uma performance inferior aos sistemas equivalentes com Cr(VI) no pré-tratamento e primário (ESTCP, 2012). Estes são resultados promissores no que toca a sistemas completamente isentos de Cr(VI), sendo que a sua performance só deve melhorar com a 4^o geração, introduzida recentemente no mercado.

Apesar de alguns produtos alternativos já serem qualificados, o seu uso ainda é pontual e não amplamente utilizado no setor. O facto do seu desempenho a longo prazo ser apenas estimado pelos resultados obtidos em câmaras salinas e por curtos períodos de utilização em condições reais em relação ao ciclo de vida de uma aeronave típica, faz com que ainda haja algum ceticismo em relação à sua utilização. Deste modo, a sua aplicação tende a ser limitada a secções e componentes da aeronave que não estejam tão propensos a desenvolver corrosão.

O investimento considerável em tecnologias de revestimento, juntamente com um desempenho igual ou melhor em relação ao Cr(VI), pode levar sucessivamente a uma mudança de paradigma quanto ao uso de inibidores alternativos nas próximas décadas.

4.4 - Enquadramento da OGMA no Regulamento REACH

Ao enquadrar o regulamento REACH com o setor aeronáutico, onde a OGMA se insere, as substâncias que se encontram em causa são todos os compostos químicos denominados por compostos de crómio hexavalente, como abordamos anteriormente, visto que são alvo de restrição para todas as entidades que não solicitaram autorização (ECHA, 2016).

A partir de janeiro de 2019, a todos os que não viram o seu pedido de autorização aceite e/ou os que não tenham apresentado autorização, está vedado o acesso à utilização dos compostos hexavalentes incluídos no Anexo XIV do Regulamento REACH (ECHA, 2016). Este facto apresenta uma barreira relevante à tecnologia de pintura com primários que contenham compostos de crómio hexavalente, tendo em conta a forma como esta é amplamente aplicada desde meados do século transato até à atualidade.

Ao longo deste período, a mudança mais significativa no setor de revestimentos foi a implementação de tintas com alto teor em sólidos e baixo teor em compostos orgânicos voláteis (COV). Os COV evaporam em condições normais de pressão e temperatura, resultando em emissões de gases para a atmosfera, o que por sua vez afeta a qualidade do ar e é potencialmente nocivo para a saúde pública. Este avanço foi, em grande parte, devido a imposições legais relacionadas com a proteção do ambiente, de modo a limitar o teor de COV de tintas e outros produtos (Agência Portuguesa do Ambiente, 2006).

Outra consequência desta mudança, foi o facto de os produtos de pintura passarem a apresentar um melhor rendimento no que toca à quantidade de tinta transferida, por ter uma maior quantidade de matéria sólida por volume que é aplicado (US Coatings , 2016).

Desde a implementação destas diretivas, a OGMA aplica os produtos de pintura de acordo com os requisitos dos manuais aplicáveis, e/ou especificados pelo cliente, optando por variantes baixas em COV quando lhe é dada a opção. No entanto, ainda há produtos utilizados que não se encontram em conformidade. O Regulamento REACH reforça as imposições quanto aos COV, mas dá um passo em frente, ao restringir o uso de compostos hexavalentes, que, como mencionado, conferem qualidades anticorrosivas às tintas.

O papel da OGMA, como um prestador de serviços de manutenção, entre os quais a pintura de aeronaves, é aplicar os produtos de pintura, de acordo com os requisitos dos manuais aplicáveis, e/ou especificados pelo cliente, garantindo a conformidade com as obrigações referentes a um utilizador a jusante do Regulamento REACH, aludidas no capítulo 3.2.2. Este

serviço é orçamentado ao cliente, consoante o RFQ²⁶ emitido por este que, conforme a extensão da intervenção e mediante aceitação, é contratualizado. Seguimos com a análise do processo de cotação após o *sunset date*, ilustrado em diagrama na Figura 20.

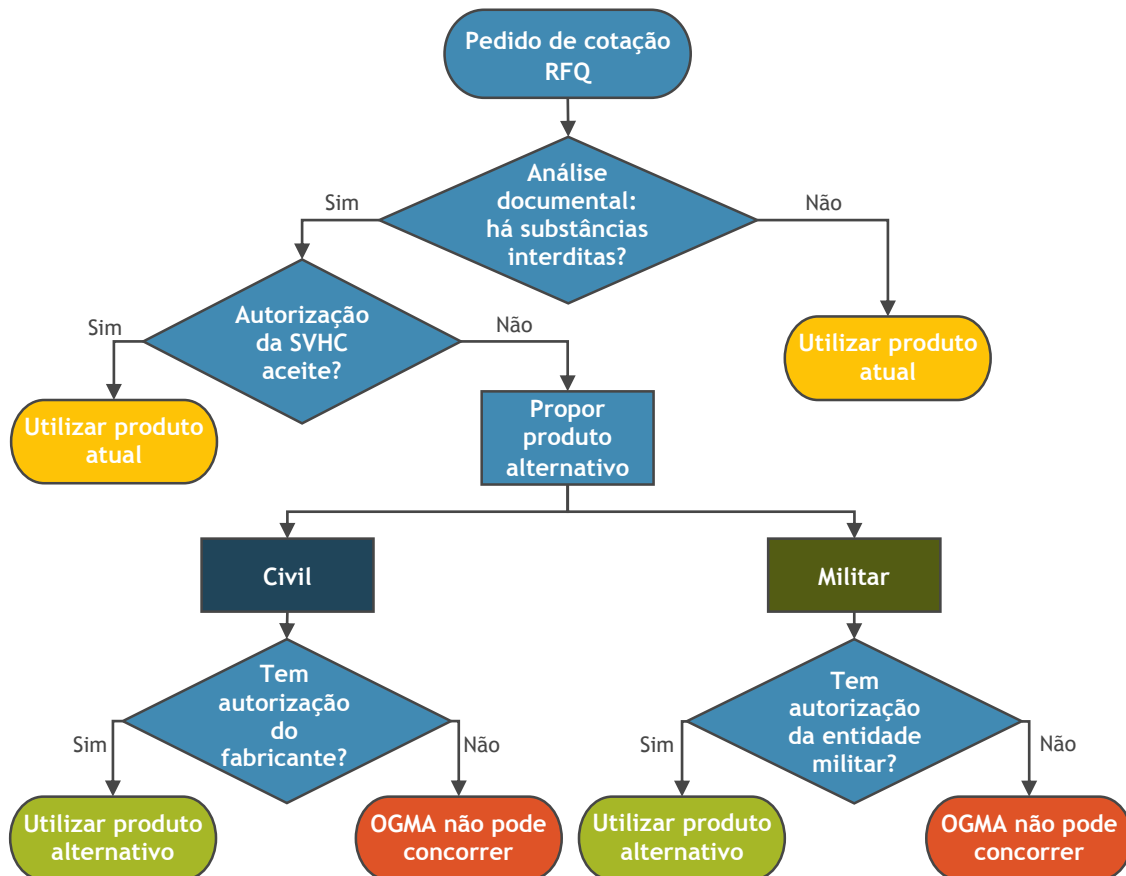


Figura 20 Diagrama do processo de cotação após o *sunset date*.

Antes do *sunset date* ou caso um pedido de autorização seja concedido, não há necessidade de alterar os produtos de pintura atualmente em uso, sendo somente necessário ter em conta as condições de segurança onde estes vão ser aplicados.

Caso o pedido de autorização seja negado, pela legislação nacional, o produto de pintura em causa não tem permissão para entrar no país. Ao receber um pedido de cotação para realizar uma intervenção, a OGMA tem obrigação de o analisar e detetar se há substâncias interditas pelo REACH. Na circunstância destas substâncias estarem presentes, para poder concorrer, a OGMA tem de notificar que o produto em causa não pode ser aplicado na EU e é proposto o uso de um alternativo ao cliente.

²⁶ *Request for quotation* ou pedido de cotação é um processo comercial padrão cujo objetivo é convidar prestadores de serviços para um processo de licitação para licitar produtos ou serviços específicos.

Mediante o setor em que este se insere, segue um processo distinto. No mercado civil, apenas o fabricante da aeronave (que em termos formais é o detentor do Certificado de Tipo - Type Certificate) está autorizado a alterar os produtos no manual, sendo imprescindível por parte do cliente ter uma autorização do fabricante. O mesmo não se sucede no mercado de defesa, onde o cliente pode decidir não solicitar autorização do fabricante. Este cenário pode ocorrer quando o fabricante não se encontra no EEE e não apresenta interesse em atualizar os manuais de *legacy products*, ficando a decisão de aplicar o produto alternativo à mercê da autorização da entidade aeronáutica militar.

Capítulo 5 - Materiais e métodos

Neste capítulo é descrito o processo de seleção dos produtos primários alternativos, assim como os métodos utilizados para averiguar a aplicabilidade dos mesmos, comparativamente aos atualmente em uso.

5.1 - Seleção por especificação

Uma especificação técnica é um conjunto explícito de exigências a serem satisfeitas por um material, produto ou serviço (ASTM International, 2012). Têm como objetivo alcançar a interoperabilidade entre entidades numa cadeia de abastecimento, ao assegurar que os produtos atendem a certos requisitos de semelhança, maior grau de confiança, custo total de posse (TCU²⁷), compatibilidade com sistemas de logística e objetivos similares quanto à sua utilização (USDOD, 2014).

Estas especificações constam nos manuais das aeronaves desenvolvidos pelos OEMs, onde estabelecem o tipo de produtos a serem utilizados na aeronave em questão. Para que um produto possa ser utilizado na aeronave, tem de cumprir um de dois requisitos: ou cumpre uma especificação, e este deverá constar obrigatoriamente na Lista de Produtos Qualificados (QPL) dessa especificação, ou o produto é referido pelo o seu P/N comercial no manual aplicável à aeronave.

Especificações podem ser desenvolvidas por entidades governamentais, como o USDOD no caso das especificações denominadas de “MIL”, que têm o intuito apenas de servir equipamento militar, ou por corporações/associações, como a *Society of Automotive Engineers* (SAE) quanto às AMS (*Aerospace Material Specifications*), que apresentam um maior conjunto de aplicações. Por outro lado, estas também podem ser desenvolvidas pelas próprias OEMs, como as MEP (*Embraer Material Specifications*) desenvolvidas pela Embraer, que são aplicáveis apenas às suas aeronaves.

Na OGMA, relativamente aos procedimentos de pintura e despintura, no setor militar cujas normas seguidas sejam as do Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, estes devem cumprir com o que consta na TO 1-1-8 ou NAVAIR conforme a entidade que esteja a operar (força aérea ou marinha), em contraste com o civil, onde estes procedimentos encontram-se presentes em capítulos próprios dentro dos manuais das aeronaves.

²⁷ *Total Cost of Ownership* - estimativa financeira destinada a ajudar compradores e proprietários a determinar os custos diretos e indiretos de um produto ou sistema ao longo do ciclo de vida.

5.1.1 - Especificações utilizadas na pintura de aeronaves

São apresentadas algumas especificações referentes aos primários utilizados com maior frequência na OGMA, de forma a compreender melhor o seu papel.

Militares:

- **MIL-PRF-23377**

MIL é a especificação geral do DoD e PRF significa que é uma especificação de desempenho, na medida que especifica os requisitos em termos de resultados exigidos, com critérios para verificar a conformidade, mas sem especificar os métodos para alcançar os resultados exigidos. Define os requisitos funcionais do produto, o ambiente no qual este deve operar e as características de interface e interoperabilidade (USDOD, 2014).

Esta norma militar americana é uma especificação para um primário de base epóxi de dois componentes, com baixo teor de VOC, sem chumbo, inibidor de corrosão, especialmente formulado para exibir boas propriedades de adesão. É resistente a produtos químicos, lubrificantes e atmosferas corrosivas, mas apresenta apenas resistência modesta a intempéries. Por esta razão, é necessário a aplicação de uma tinta de acabamento de especificação MIL-PRF-85285 para o exterior de aeronaves e componentes, sendo que em superfícies internas a aplicação do primário por si só cumpre os requisitos (Robins AFB, 2017).

Está disponível em dois tipos diferentes:

Type I - Pigmento padrão (amarelo);

Type II - Pigmento IR (Low-infrared) (verde escuro);

Cada um com três classes distintas:

Class C1 - Inibidores de corrosão à base de cromato de bário;

Class C2 - Inibidores de corrosão à base de cromato de estrôncio;

Class N - Inibidores de corrosão não baseados em cromatos.

Nota: *Class N* não substitui a *Class C1* ou *Class C2*, a menos que seja autorizado pela engenharia responsável do OEM onde vai ser aplicado o primário.

Na OGMA, para a pintura de manutenção são utilizados os *Type I Class C2*.

- **MIL-PRF-85582**

Esta MIL refere-se a primários com características semelhantes à MIL anterior, diferindo apenas no facto de estes serem à base de água. Apresenta os mesmos tipos e as mesmas classes, tendo sido formulada para cumprir a maioria das normas de poluição ambientais. São utilizados na OGMA novamente os *Type I Class C2* (Robins AFB, 2017).

- **AMS-C-27725**

Esta especificação estabelece requisitos para um primário à base de poliuretano para três tipos, cada um com duas categorias. Os primários cobertos por esta especificação são tipicamente aplicados ao interior dos tanques de combustível das aeronaves, devido à sua resistência contra à corrosão provocada por combustível e contaminantes (SAE, 2009).

São classificados do seguinte modo:

Type I - Um revestimento de poliuretano de dois componentes, com um teor de VOC inferior a 420 g/l;

Type II - Um revestimento de poliuretano de dois componentes, com um teor de VOC inferior a 720 g/l;

Type III - Um revestimento sem crômio hexavalente com um teor de VOC inferior a 420 g/l;

Grade 1 - Padrão;

Grade 2 - Resistência a éter monoetílico de dietilenoglicol (DiEGME²⁸).

Desta especificação, são utilizados na OGMA os primários *Type I Grade 1*.

Civis:

- **MEP 10-068**

Representa os primários de base epóxi de dois componentes, com baixo teor de VOC, para o exterior das aeronaves Embraer. Fornece proteção dos substratos não só contra a intempérie, mas também contra a corrosão de componentes metálicos em áreas expostas a agentes químicos, como solventes e fluidos hidráulicos. Esta especificação é projetada para ser compatível com sistemas de pintura de poliuretano.

Pode ser um dos dois tipos:

Type I - Primário epóxi com base de crômio hexavalente (cromato de estrôncio - SrCrO₄);

Type II - Primário epóxi sem compostos de crômio hexavalente.

Cada um com duas classes:

Class A - aplicada por método de aplicação convencional e *airless*;

Class B - aplicada por método de aplicação eletrostático assim como convencional.

Na OGMA, para a pintura de manutenção são utilizados os *Type I, Class A & B*.

²⁸ Inibidor de gelo do sistema de combustível.

5.1.2 - Procura de produtos primários alternativos

A OGMA, de modo a avaliar o impacto provocado na sua atividade, identificou um conjunto de produtos que serão afetados pelo regulamento REACH. Dentro deste conjunto, os produtos identificados utilizados no processo de pintura de aeronaves são na sua maioria primários.

Ao ter em conta todas as especificações referentes a primários com cromatos, a seleção de produtos de pintura alternativos baseou-se em encontrar aqueles com as mesmas especificações, mas das classes/tipos que não contêm cromatos. É de notar que estas categorias não foram criadas em específico para a legislação REACH, mas como foram idealizadas com o intuito de obedecer restrições ambientais, são compatíveis com esta legislação.

Iniciou-se assim a procura de produtos primários alternativos²⁹, que numa primeira fase foi realizada através da consulta de repositórios *online* dos fabricantes de produtos de pintura, utilizados pela OGMA. Quando se constatava a ausência de produtos classificados como “isentos de cromatos” ou especificações que não apresentam essa mesma classificação, contactou-se diretamente com os fabricantes em causa, de modo a averiguar a existência de alternativos em desenvolvimento.

5.2 - Ensaios

Os ensaios realizados têm como objetivo comparar os parâmetros de aplicabilidade dos produtos primários alternativos, relativamente aos correntemente em uso. Para este efeito, foram verificados nos manuais das aeronaves intervencionadas pela OGMA, bem como nas TDS dos produtos de pintura, os requisitos estabelecidos de controlo de pintura. A metodologia utilizada na realização dos ensaios seguiu documentos internos de certificação da OGMA, de caris confidencial. Com base no levantamento dos requisitos, foi necessário efetuar a aplicação dos primários em provetes metálicos.

Foram selecionadas amostras de três produtos primários alternativos que fossem representativos das especificações mais utilizadas na empresa do setor militar e do civil, mediante os encontrados através do método descrito anteriormente. Cada um destes produtos primários, bem como os equivalentes em uso, foi aplicado em 3 provetes de Alumínio 2024-T3, de dimensões 500x610mm, seguindo os procedimentos do processo de pintura (ver Figura 21).

²⁹ Foi acordado na OGMA que esta dissertação não iria revelar os fabricantes dos produtos primários testados.



Figura 21 Provete de Alumínio 2024-T3 com tratamento de cromatação

Antes da aplicação dos respectivos produtos primários, os provetes receberam um tratamento de cromatação segundo a norma MIL-DTL-81706 referente a tratamentos de conversão química identificados nos manuais das aeronaves civis e TOs militares, o que explica o tom bronze observado na Figura 21. A borda inferior do provete foi cobrida também com fita de papel de largura 37mm para efeitos da medição da espessura da camada seca.

Após a mistura dos componentes (base, endurecedor e diluente, quando aplicável) e após o tempo de indução³⁰, os primários foram testados quanto à sua viscosidade³¹. A medição da viscosidade serve como indicador de que o produto de pintura encontra-se nas condições necessárias para ser aplicado. A TDS do produto identifica quais os viscosímetros e os respectivos tempos a adotar.



Figura 22 Viscosímetro tipo ISO Cup 4#.

³⁰ Após a mistura dos vários componentes da tinta, é o tempo necessário esperar para que a reação química ocorra entre os mesmos, e que varia de produto para produto de acordo com o que está escrito nas TDS dos produtos.

³¹ Ensaio realizado de acordo com norma interna da OGMA a qual, dada a natureza confidencial, não pode ser referida neste relatório da dissertação.

Para medir a viscosidade foi utilizado um viscosímetro tipo ISO Cup 4#, mostrado na Figura 22, segundo a TDS aplicável.

A viscosidade determina-se a partir do tempo, em segundos, que o produto primário leva a atravessar um orifício calibrado. O copo deve estar completamente cheio e a medição do tempo inicia-se assim que o orifício for destapado. Assim que o escoamento for interrompido, ou seja, o fluxo de saída deixa de ser contínuo, regista-se o tempo obtido. Este resultado é válido se se encontrar dentro do intervalo de tempo indicado na TDS aplicável do primário em causa (Robins AFB, 2017).

Para a aplicação dos produtos primários foi utilizada uma pistola HVLP com um bico de 1,4mm, sendo que a pressão foi selecionada para cada caso mediante a documentação técnica aplicável (ver Figura 23). O método de aplicação seguiu os procedimentos de pintura padrão, nomeadamente os de sobreposição cruzada, indicados anteriormente no estado da arte. Após a pintura, os provetes foram submetidos a cura à temperatura ambiente, ficando assim prontos para serem examinados.



Figura 23 Pistola HVLP.

Os provetes são inspecionados visualmente, segundo parâmetros de inspeção definidos nos manuais de manutenção das aeronaves intervencionadas, onde se verifica que a superfície está lisa, de aspeto uniforme, isenta de bolhas, escorridos, rugosidades, riscos, “casca de laranja” ou outras irregularidades que possam comprometer o aspeto global da superfície (Robins AFB, 2017).

5.2.1 - Espessura

A espessura da camada seca foi obtida através do uso de um medidor Fisher ISOSCOPE® para revestimentos em alumínio ou outras ligas não ferrosas, devidamente calibrado e ajustado, representado na Figura 24.



Figura 24 Fisher ISOSCOPE® MP1C.

A medição consistiu em pressionar a sonda do medidor contra a camada do produto primário num mínimo de 6 pontos, representativos da área total do provete a ser avaliado. Adicionalmente, o mesmo procedimento foi aplicado na faixa desprovida de camada de primário (previamente isolada com fita adesiva), de forma a obter a espessura correspondente ao tratamento de cromatação e poder subtraí-la das medições obtidas anteriormente. A espessura da camada de primário é aprovada caso a média das leituras realizadas esteja dentro do intervalo de espessuras aplicável, definido na TDS de cada produto ou estabelecido nos manuais das aeronaves.

5.2.2 - Massa

Para determinar a massa da camada seca, foi necessário registar a massa dos provetes tratados antes da aplicação de primário. Após a aplicação e secagem, os provetes foram novamente pesados e foi calculada a massa de primário presente em cada um, através da diferença destes valores. A balança utilizada para esta medição tinha um grau de precisão de $\pm 0,1g$.

Os valores obtidos foram posteriormente comparados aos fornecidos na TDS aplicável. A massa teórica da camada seca é dada em $g/m^2/\mu m$ por isso, de modo a ser equiparável às

obtidas, foram ajustadas mediante a área dos provetes testados e a espessura obtida. Este mesmo valor foi utilizado para fazer uma estimativa do massa total de primário numa aeronave, considerando uma área externa de 1000m².

5.2.3 - Cobertura

Neste método o objetivo é calcular a área que um determinado volume de primário consegue abranger.

Para a pintura foram preparados entre 400 a 600 ml de cada produto primário, dependendo das proporções dos seus componentes. Após a aplicação nos provetes, foi registada a quantidade restante, de modo a saber o volume utilizado. Este valor foi relacionado com a área total dos 3 provetes, pela seguinte fórmula (Paint Coverage/Consumption Calculation):

$$\text{Cobertura prática (m}^2\text{/l)} = \frac{\text{Área total dos 3 provetes (m}^2\text{)}}{\text{Volume utilizado (l)}}$$

O valor da cobertura prática foi então associado à espessura média dos provetes, de modo a ser comparado com a cobertura teórica presente na TDS aplicável. Esta comparação tem como base a seguinte fórmula (Paint Coverage/Consumption Calculation):

$$\text{Eficiência de transferência (\%)} = \frac{\text{Cobertura prática}}{\text{Cobertura teórica}} \times 100$$

A eficiência de transferência refere-se à quantidade de material que adere ao substrato, em comparação com a quantidade de material que foi pulverizado através da pistola em direção ao mesmo.

Como é apresentado na Tabela 6, a eficiência de transferência varia dependendo do método de aplicação escolhido. Uma vez que as pistolas utilizadas foram HVLP, consideraram-se os valores aproximadamente entre 40-60% como referência para averiguar a validade dos resultados obtidos.

Tabela 6 Eficiência típica de transferência dos métodos de aplicação (Paint Coverage/Consumption Calculation).

Convencional	HVLP	Airless	Assistido a ar	Electroestático	Rolo
20-40%	40-60%	50-60%	50-70%	60-85%	95% ou mais

5.2.4 - Aderência a seco (com e sem quadrícula)

Este procedimento³² é utilizado para verificar o estado da adesão do primário quer à superfície onde ela é aplicada, quer entre as várias camadas presentes num esquema de pintura completo. Neste caso, foi apenas testada a aderência do primário quanto ao tratamento de cromatação e substrato de Alumínio 2024-T3.

Os ensaios de aderência a seco foram efetuados depois de, pelo menos, 48 horas de secagem do primário em dois locais representativos de toda a superfície do provete pintado.

- **Sem quadrícula**

Neste procedimento utilizou-se um pedaço de fita adesiva (Ref. Nº 250 da *3M Company*) com cerca de 15 cm de comprimento, dos quais cerca de 10 cm são pressionados na superfície a ensaiar, exercendo uma pressão firme com a unha do polegar até à remoção de qualquer bolha de ar que fique retida na fita.

De seguida, a fita foi puxada bruscamente e de uma só vez, fazendo um ângulo de 45 a 90° com a superfície (ver Figura 25). A pintura satisfará o ensaio de aderência se a fita não apresentar quaisquer vestígios de remoção do primário da superfície pintada.

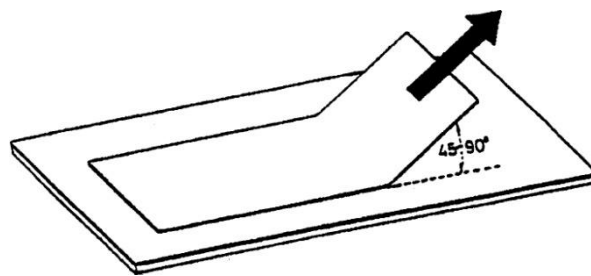


Figura 25 Diagrama do ensaio de aderência.

- **Com quadrícula**

Este ensaio é semelhante ao anterior, visto que consiste na aplicação da mesma fita adesiva seguida da sua remoção, desta vez a um ângulo de aproximadamente 60° com a superfície (ver Figura 26).

³² Ensaio realizado de acordo com norma interna da OGMA a qual, dada a natureza confidencial, não pode ser referida neste relatório da dissertação.

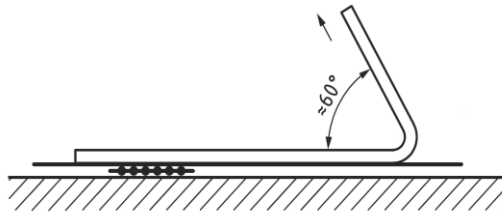


Figura 26 Posição da fita imediatamente antes da remoção.

No entanto, como o nome indica, a fita foi aplicada numa quadrícula feita no provete com um equipamento cortante do tipo 6x1 (ver Figura 27), conforme a especificação ISO 2409, criando o padrão representado na Figura 28.



Figura 27 Erichsen Multi Cross Cutter Model 295.

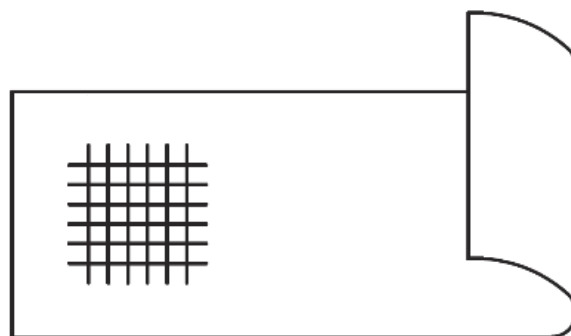
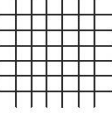
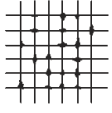
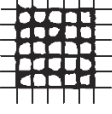
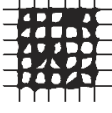
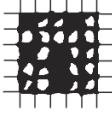


Figura 28 Posição da fita em relação à quadrícula.

Após efetuar o ensaio com a fita adesiva, analisaram-se os resultados obtidos de acordo com a seguinte tabela com os critérios definidos pela ISO 2409 (International Organization for Standardization, 2013):

Tabela 7 Critérios de aceitação para ensaios de aderência (International Organization for Standardization, 2013) adaptado.

Classificação ISO 2409	Descrição	Aparência da quadrícula após ensaio
0	Os cortes estão completamente suaves, não existindo qualquer falha do sistema de pintura na quadrícula.	
1	Pequenas falhas de adesão do sistema de pintura nas interseções dos cantos. A zona danificada não deve ser significativamente maior que 5% da área total da quadrícula.	
2	Existem falhas de tinta nas interseções e/ou ao longo dos cortes. A área danificada é significativamente superior a 5% mas não significativamente superior a 15%.	
3	O sistema de pintura apresenta falhas parciais ou totais ao longo dos cortes e/ou apresenta falhas parciais ou totais nos quadrados. A área afetada é significativamente maior que 15% mas não é significativamente superior a 35%.	
4	O sistema de pintura falhou ao longo dos cortes e/ou alguns quadrados apresentam falhas parciais ou totais do sistema de pintura. A área afetada é significativamente superior a 35% mas não é significativamente maior do que 65%.	
5	Qualquer dano pior do que o descrito anteriormente.	---

Os resultados só devem ser considerados aceitáveis quando a classificação final for 0 ou 1.

5.3 - Análise de custos

Para simular os custos envolvidos na utilização de produtos primários alternativos numa empresa que fornece serviços de pintura de manutenção, foi considerado um cenário de pintura total da superfície externa de uma aeronave, representativo do setor militar e civil.

A análise consistiu em calcular a quantidade de produto primário alternativo necessária para pintar uma aeronave e, com o preço por litro, determinar o preço total de pintura. Para estimar a quantidade, foi utilizada a seguinte fórmula (Paint Coverage/Consumption Calculation):

$$\text{Quantidade de primário requerido (l)} = \frac{\text{Área teórica da aeronave (m}^2\text{)}}{\text{Cobertura prática (m}^2\text{/l)}} + 10(\%)$$

onde os 10% acrescentados representam o fator de contingência.

Como referência, a área teórica da aeronave para todos os cenários baseou-se na área molhada³³ de um *Lockheed C-130 Hercules*, sendo arredondada a 1000m² (Covert, James, Kimzey, Richey, & Rooney, 1985). A cobertura prática foi a anteriormente calculada para cada primário testado. Dado que a compra dos produtos é feita por *kits* que variam em quantidade, os valores obtidos foram arredondados aos litros por *kit* mediante o primário.

³³ Área que está em contato com o fluxo externo de ar.

Capítulo 6 - Apresentação e discussão dos resultados

6.1 - Seleção por especificação

A Tabela 8 provem de uma listagem de produtos afetados pelo Regulamento REACH identificada pela OGMA, que são produtos utilizados no hangar de pintura.

Exibe os produtos primários a serem substituídos, as substâncias em conflito com o Regulamento REACH em cada um dos casos, assim como a data até onde estes primários podem ser utilizados caso não seja concedida autorização para a sua continuidade.

Adicionalmente, esta tabela associa a especificação de cada primário, prevista nos manuais utilizados na OGMA, com a especificação equivalente compatível com a Regulamento REACH. Por fim, através dos métodos descritos na seção 5.1.2, explicita os produtos primários alternativos obtidos.

Tabela 8 Primários alternativos obtidos através de especificações compatíveis com a Regulamento REACH.

Primário	Substance of Very High Concern	Sunset date	Especificação	Especificação compatível REACH	Alternativo REACH
PM1	Cromato de estrôncio	22/01/2019	MIL-PRF-23377 Type I, Cl C2	MIL-PRF-23377 Type I Cl N	AM1A
				MIL-PRF-32239 Ty II, Cl 1, Gr1	AM1B AM1C
PC1	Cromato de estrôncio	22/01/2019	MEP 10-068Type I, Cl A & B	MEP-10-068 Type II	AC1
PC2	Cromato de estrôncio	22/01/2019	MEP 10-059	N/A	N/A
PM2	Cromato de estrôncio	22/01/2019	AMS-C-27725 Type I	AMS-C-27725 Type III Gr 2	AM2
PM3	Cromato de estrôncio	22/01/2019	MIL-PRF-23377	MIL-PRF-23377 Type I Cl N	AM1A
				MIL-PRF-32239 Ty II, Cl 1, Gr1	AM1B AM1C
PC3	Cromato de potássio de zinco	22/01/2019	AIMS-04-04-012	N/A	N/A
PC4	Cromato de potássio de zinco	22/01/2019	AIMS-04-04-012	N/A	N/A
PC5	Cromato de estrôncio	22/01/2019	DMS 1786, Ty I, Comp A GE A50TF107-S5, Class A	N/A	N/A
PM4	Cromato de estrôncio	22/01/2019	MIL-PRF-85582 Type I Class C2	MIL-PRF-85582 Type I Cl N	AM3
PM5	Octa-hidróxido de cromato de penta zinco	22/01/2019	FMS-1058	N/A	N/A
PM6	Cromato de potássio de zinco	22/01/2019	AMS 3095	AMS 3095A	AM4
PC6	Cromato de estrôncio	22/01/2019	AMS-C-27725 Type II	AMS-C-27725 Type III Gr 2	AC2
PM7	Cromato de estrôncio	22/01/2019	MIL-PRF-23377 Type I, Cl C2	MIL-PRF-23377 Type I Cl N	AM1A
				MIL-PRF-32239 Ty II, Cl 1, Gr1	AM1B AM1C
PM8	Cromato de estrôncio	22/01/2019	MIL-PRF-23377 Type I, Cl C2	MIL-PRF-23377 Type I Cl N	AM1A
				MIL-PRF-32239 Ty II, Cl 1, Gr1	AM1B AM1C
PM9	Cromato de estrôncio	22/01/2019	MIL-PRF-23377 Type I, Cl C2	MIL-PRF-23377 Type I Cl N	AM1A
				MIL-PRF-32239 Ty II, Cl 1, Gr1	AM1B AM1C

Dos 15 produtos primários, foram encontrados alternativos para 10, o que corresponde a 67% da amostra. Isto revela que já existe um número considerável de opções no mercado isentas de Cr(VI), qualificadas para diversas especificações. Por outro lado, apesar de se ter contactado os fabricantes dos 5 primários sem alternativos, a resposta transmitida foi que embora não estivesse previsto o desenvolvimento de primários sem Cr(VI) para as especificações em questão, estão a ser desenvolvidos em cumprimento com uma especificação mais recente, a MIL-PRF-32239.

Esta especificação MIL-PRF-32239 engloba todo o sistema de produtos necessários para a pintura de uma aeronave. Abrange os produtos de tratamento de superfície, o primário e a tinta de acabamento, assim como o decapante químico e o produto de limpeza. Estabelece os requisitos para sistemas qualificados com alta durabilidade para aplicação em superfícies externas de aeronaves militares (USDOD, 2007).

Para o primário militar³⁴ PM1, apesar de já ter sido identificado o alternativo AM1A de acordo com a especificação MIL-PRF-23377 Type I Class N, foram apresentados dois produtos primários alternativos adicionais por parte de um outro fabricante, AM1B e AM1C. A diferença destes produtos alternativos com aplicação militar, é que se baseiam na especificação MIL-PRF-32239. Apesar de não serem oficialmente qualificados pela MIL-PRF-23377, cumprem os mesmos requisitos técnicos desta.

Os sistemas de revestimento sob esta especificação consistem nos seguintes tipos, classes e categorias:

Type 1 - Esquema de revestimento que contem compostos de crómio hexavalente com resistência a *Skydrol LD-4*³⁵;

Type 2 - Esquema de revestimento sem compostos de crómio hexavalente com resistência a *Skydrol LD-4*;

Type 3 - - Esquema de revestimento que contem compostos de crómio hexavalente;

Type 4 - Esquema de revestimento sem compostos de crómio hexavalente;

Class 1 - Esquema de revestimento com flexibilidade³⁶ padrão;

Class 2 - Esquema de revestimento com alta flexibilidade;

Grade 1 - Esquema de revestimento com pigmento padrão;

Grade 2 - Esquema de revestimento com pigmento IR (*Low-infrared*).

³⁴ Designação que foi dada para definir um primário aplicável a aeronaves militares.

³⁵ Marca comercial de fluido hidráulico de aviação resistente ao fogo.

³⁶ Capacidade de a camada de revestimento esticar sem sofrer danos.

Tendo em conta que os produtos alternativos com a especificação MIL-PRF-32239, apresentados pelo fabricante, são do tipo 2, e que esta obedece aos requisitos dos primários com especificação MIL-PRF-23377, o AM1B e o AM1C podem ser contemplados como alternativos para todos os produtos primários com esta especificação. Deste modo, 5 dos primários atualmente em uso podem ser substituídos pelos alternativos AM1A, AM1B e AM1C.

No caso destes produtos alternativos serem implementados, a escolha dos produtos de pintura será simplificada, na medida em que diminui o número de especificações. Em contrapartida, a mudança de especificações nos manuais de aeronaves, já em operação, pode ser um obstáculo complexo de superar, especialmente em fabricantes fora da Europa que não demonstram interesse em atualizar nem os seus manuais nem os de produtos *legacy*.

6.2 - Ensaaios

Todos os resultados explicitados nesta secção seguem os procedimentos descritos no capítulo 5.2.

As amostras escolhidas para os ensaios foram as dos produtos alternativos AM1B, AM1C e AC1, juntamente com as dos primários equivalentes em uso, PM1 e PC1. O produto alternativo AM1B utiliza como base inibidora de corrosão alternativa Magnésio, porém os alternativos AM1C e AC1 utilizam Lítio para este efeito.

Após a preparação da mistura por um técnico qualificado de pintura, na proporção requerida, todos os primários exibiram uma viscosidade dentro do intervalo requerido em cada TSD aplicável e foi respeitado o seu tempo de indução. A pressão do ar na pistola para aplicação dos produtos foi de 4 bar para todos, menos o AM1B e AM1C que requereram uma pressão de 2,1 bar.

Após aplicação, os primários atualmente em uso foram submetidos a uma cura (secagem) forçada em estufa, enquanto que os alternativos foram curados à temperatura ambiente, visto que para estes alternativos não está prevista cura forçada nas suas TDS respetivas (ver Tabela 9 e Tabela 10).

Tabela 9 Parâmetros das amostras testadas com os primários aplicáveis ao setor Militar.

	Militar								
	AM1B			PM1			AM1C		
	PROV MA1	PROV MA2	PROV MA3	PROV MP1	PROV MP2	PROV MP3	PROV MB1	PROV MB2	PROV MB3
Proporção de mistura	4-1-1			3-1			4-1-1		
Viscosidade teórica (s)	33 - 59			21 - 30			24 - 36		
Viscosidade medida (s)	36			30			35		
Tempo de indução (m)	30			30			15		
Tempo de secagem para aplicação de acabamento (h)	3 - 48			5 - 48			3 - 96		
Cura Forçada/Estufa	Não Aplicável			Aplicável			Não Aplicável		

Tabela 10 Parâmetros das amostras testadas com os primários aplicáveis ao setor Civil.

	Civil					
	AC1			PC1		
	PROV CA1	PROV CA2	PROV CA3	PROV CP1	PROV CP2	PROV CP3
Proporção de mistura	2-1-1			3-1-1		
Viscosidade requerida (s)	18 - 26			15 - 21		
Viscosidade medida (s)	19			18		
Tempo de indução (m)	15			0		
Tempo de secagem para aplicação de acabamento (h)	2,5 - 48			2,25 - 48		
Cura Forçada/Estufa	Não Aplicável			Aplicável		

Finalizada a cura, os 15 provetes passaram para a inspeção visual, onde se verificou uma superfície lisa em todos, de aspeto uniforme e isento de qualquer defeito de pintura como por exemplo bolhas, escorridos, rugosidades, riscos ou “casca de laranja” (ver exemplos na Figura 29).

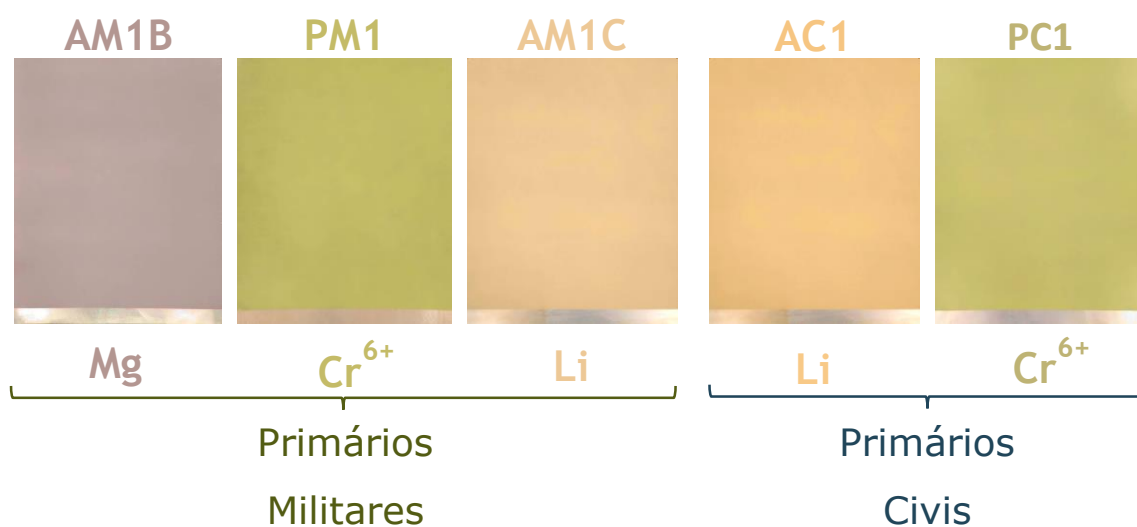


Figura 29 Provetes após aplicação dos respetivos primários.

6.2.1 - Espessura

As espessuras medidas em cada provete, assim como as espessuras médias de cada primário testado, podem ser observadas na Tabela 11 referente ao setor Militar, e na Tabela 12 referente ao setor Civil.

Tabela 11 Espessura da camada seca dos primários do setor Militar.

	Militar								
	AM1B			PM1			AM1C		
	PROV MA1	PROV MA2	PROV MA3	PROV MP1	PROV MP2	PROV MP3	PROV MB1	PROV MB2	PROV MB3
Espessura teórica (μm)	25 - 35			15 - 23			15 - 35		
Espessura medida (μm)	28,1	25,3	28,2	15,91	16,31	15,98	28,46	26,6	26,4
Espessura média medida (μm)	27,20			16,07			27,15		

Tabela 12 Espessura da camada seca dos primários do setor Civil.

	Civil					
	AC1			PC1		
	PROV CA1	PROV CA2	PROV CA3	PROV CP1	PROV CP2	PROV CP3
Espessura requerida (μm)	15 - 25			12 - 20		
Espessura medida (μm)	16,3	24,7	21,4	18,83	18,49	15,02
Espessura média medida (μm)	20,80			17,45		

Apesar dos valores requeridos terem sido atingidos em cada caso, comparativamente ao intervalo exigido na TDS aplicável, o produto primário alternativo AM1B apresentou alguns obstáculos a cumprir este critério.

Após os provetes serem pintados com o produto primário, as espessuras encontravam-se a cima do previsto na TDS. Por esta causa, foram necessários 5 ensaios para obter uma espessura nos 3 provetes que estivesse dentro da gama de valores aceites, sendo que a tendência era para espessuras superiores ao requerido. A natureza química deste produto primário AM1B (base magnésio) faz com que a espessura da camada seca seja maior que os outros produtos primários aplicados habitualmente pelos técnicos de pintura nas mesmas condições de aplicação (bico da pistola, pressão do ar, abertura de leque, sobreposição de camadas, etc.).

Tendo em conta que todos os parâmetros do procedimento de pintura estavam a ser respeitados, os fatores alterados foram a aplicação apenas de uma camada com sobreposição de 50% sem cruzamento e o aumento da velocidade da passagem da aplicação do primário. O ligeiro aumento da velocidade de aplicação faz com que a quantidade de primário depositada na superfície, por passagem da pistola, seja inferior, o que resulta numa espessura menor. Deste modo, foi possível atingir os valores requeridos na TDS aplicável. Alternativamente, pode ser ajustado o débito da pistola, mediante escolha do técnico de pintura.

Esta diferença em aplicabilidade pode ter implicações na pintura de uma aeronave, visto que é necessário um período de ajustamento por parte dos técnicos envolvidos. Se a espessura do primário na aeronave se encontrar acima do intervalo requerido, procede-se a uma lixagem mecânica da superfície, de modo a atingir os valores desejados. No caso de o primário já ter curado na totalidade, é necessário após a lixagem mecânica aplicar uma camada ligeira de primário. Ambos os processos implicariam horas de trabalho e material adicional, o que aumentaria o custo total da operação.

A aplicabilidade é um fator difícil de controlar devido ao processo de pintura ser inteiramente manual. É bastante dependente da sensibilidade de cada técnico, sendo necessário ter sempre em consideração o fator humano. A melhor forma de mitigar este fator com produtos novos, é realizar ensaios em provetes antes da aplicação na aeronave e reforçar a formação dos técnicos de pintura, com a abordagem de um leque mais vasto de tintas com diferentes aplicabilidades.

6.2.2 - Massa

A Tabela 13 e a Tabela 14 apresentam os resultados relativos à massa da camada seca de primário no setor Militar e Civil, respetivamente.

Tabela 13 Massa da camada seca dos primários do setor Militar.

	Militar								
	AM1B			PM1			AM1C		
	PROV MA1	PROV MA2	PROV MA3	PROV MP1	PROV MP2	PROV MP3	PROV MB1	PROV MB2	PROV MB3
Massa do primário (g, calculado)	8,9	10,2	9,9	8,1	8,8	8,2	15,3	14,4	13,9
Massa média do primário (g, calculado)	9,67			8,37			14,53		
Massa teórica do primário (g, calculado)	11,30			8,39			13,57		
Massa teórica do primário numa aeronave (kg)	40,26			29,88			48,33		
Diferença percentual entre massas (%)	+35%					+62%			

Tabela 14 Massa da camada seca dos primários do setor Civil.

	Civil					
	AC1			PC1		
	PROV CA1	PROV CA2	PROV CA3	PROV CP1	PROV CP2	PROV CP3
Massa do primário (g, calculado)	7,9	11,2	10,3	9,3	8,6	7,30
Massa média do primário por provete (g, calculado)	9,80			8,40		
Massa teórica do primário (g, calculado)	9,05			8,28		
Massa teórica do primário numa aeronave (kgs)	32,24			29,48		
Diferença percentual entre massas (%)	+9%					

Verifica-se que os valores médios da massa de primário obtidos assemelham-se aos valores teóricos fornecidos pela TDS aplicável, o que valida a veracidade dos ensaios realizados.

Em relação à diferença percentual entre as massas, pode-se constatar que todos os primários alternativos apresentam uma massa superior à dos seus primários equivalentes com Cr(VI). No entanto, os casos em que a diferença foi considerável foram no setor Militar, onde os primários AM1B e AM1C apresentam massas 35% e 62% superiores, respetivamente.

Este aumento quanto à massa coloca em desvantagem uma aeronave que utilize estes primários alternativos, relativamente a primários com Cr(VI). Com a massa acrescida em primário, o peso vazio da aeronave (MEW) aumenta, o que por sua vez obriga a que o peso em

carga útil seja diminuído, de modo a não ultrapassar o peso máximo com o qual uma aeronave pode alcançar voo em segurança (MTOW). Isto, embora de forma ligeira, afeta diretamente a quantidade de material ou combustível que uma aeronave militar pode transportar, para fins da sua missão.

Comparativamente a um mesmo peso em carga útil, uma aeronave militar com um dos primários alternativos testados irá consumir mais combustível, devido ao aumento do peso vazio da aeronave. Este consumo superior, pode encurtar parcialmente o alcance da aeronave.

6.2.3 - Cobertura

A Tabela 15 e Tabela 16 mostram os resultados obtidos quanto à cobertura dos primários testados no setor Militar e Civil, respetivamente.

Tabela 15 Cobertura da camada seca dos primários do setor Militar.

	Militar								
	AM1B			PM1			AM1C		
	PROV MA1	PROV MA2	PROV MA3	PROV MP1	PROV MP2	PROV MP3	PROV MB1	PROV MB2	PROV MB3
Volume de primário utilizado (ml)	115			55			110		
Cobertura teórica (m ² /L*µm)	14,75			36,72			21,36		
Cobertura prática (m ² /L*µm)	8,02			16,77			8,39		
Eficiência de transferência (%)	54			46			41		
Diferença percentual entre coberturas (%)	-52%						-50%		

Tabela 16 Cobertura da camada seca dos primários do setor Civil.

	Civil					
	AC1			PC1		
	PROV CA1	PROV CA2	PROV CA3	PROV CP1	PROV CP2	PROV CP3
Volume de primário utilizado (ml)	70			60		
Cobertura teórica (m ² /L*µm)	25,62			25,91		
Cobertura prática (m ² /L*µm)	13,18			15,38		
Eficiência de transferência (%)	51			59		
Diferença percentual entre coberturas (%)	-14%					

O facto da eficiência de transferência, definida no capítulo 5.2.3, em todos os testes se encontrar aproximadamente entre 40 a 60%, confirma que as medições, e consequentemente os ensaios, foram executados de forma adequada.

A razão entre coberturas em ambos os setores verificou-se ser negativa, o que mostra que a capacidade de cobertura dos primários alternativos é inferior em comparação aos primários com Cr(VI). O setor Militar destacou-se novamente, com a cobertura dos produtos alternativos AM1B e AM1C a ser aproximadamente metade da cobertura do PM1, -52% e -50%, respetivamente. No setor Civil, apesar da capacidade de cobertura do primário alternativo AC1 ser inferior ao PC1, esta é apenas de forma ligeira, o que não afeta de modo substancial a quantidade de primário necessário para pintar uma aeronave.

Naturalmente, conclui-se que para os produtos primários alternativos militares é necessário utilizar aproximadamente o dobro da quantidade de primário para cobrir a mesma área, comparativamente ao primário equivalente com Cr(VI), PM1. O principal impacto deste fator é a nível económico, o qual é analisado em detalhe na secção 6.3.

6.2.4 - Ensaio de aderência a seco (com e sem quadrícula)

Os resultados dos ensaios de aderência podem ser constatados na Tabela 17 e Tabela 18.

Tabela 17 Aderência da camada seca dos primários do setor Militar.

	Militar								
	AM1B			PM1			AM1C		
	PROV MA1	PROV MA2	PROV MA3	PROV MP1	PROV MP2	PROV MP3	PROV MB1	PROV MB2	PROV MB3
Teste de aderência a seco	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Teste de aderência a seco (quadrícula)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabela 18 Aderência da camada seca dos primários do setor Civil.

	Civil					
	AC1			PC1		
	PROV CA1	PROV CA2	PROV CA3	PROV CP1	PROV CP2	PROV CP3
Teste de aderência a seco	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Teste de aderência a seco (quadrícula)	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Todos os primários satisfizeram o ensaio de aderência, tanto com e sem quadrícula, não apresentando quaisquer vestígios de remoção do primário da superfície pintada após a remoção da fita. Um exemplo do estado da quadrícula de cada primário após o ensaio pode ser observado na Figura 30 e Figura 31.

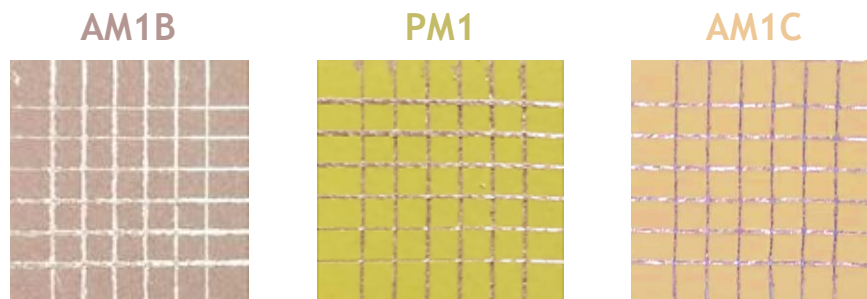


Figura 30 Provetes do setor Militar após ensaio de aderência com quadrícula.

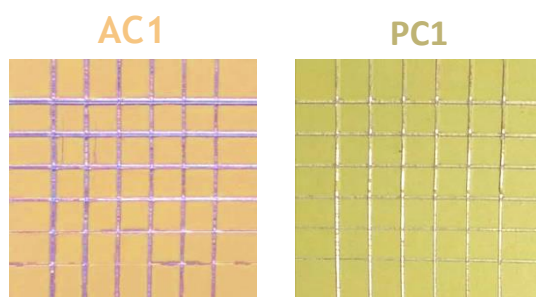


Figura 31 Provetes do setor Civil após ensaio de aderência com quadrícula.

Ao ter em consideração as classificações da aparência das quadrículas fornecidas na Tabela 7, apura-se que uma das quadrículas do primário alternativo AC1 enquadra-se na classificação 1. Apresenta pequenas falhas de aderência do primário nas interseções dos cantos inferiores, no entanto, a zona danificada não ultrapassa os 5% da área total da quadrícula. As restantes quadrículas obtidas, correspondem à classificação 0, com cortes completamente suaves, não existindo qualquer falha do primário na quadrícula.

Ao analisar as diferenças entre as quadrículas dos produtos primários alternativos quanto aos equivalentes com Cr(V), notamos que não existe diferenças significativas pois o grau de falha de aderência é sensivelmente o mesmo. Isto leva-nos a concluir que primários alternativos conseguem obedecer a níveis de aderência, ao tratamento químico e substrato, comparáveis aos primários atualmente em uso, apesar da ausência de Cr(VI).

6.3 - Análise de custos

Os custos envolvidos na utilização de primários, assim como a quantidade necessária mediante os kits, são exibidos na Tabela 19 e Tabela 20.

Tabela 19 Custos e quantidade de primários do setor Militar.

	Militar		
	AM1B	PM1	AM1C
Preço/Litro (€/L)	66,59	43,59	75,76
Litro/Kit (L)	5,67	3,79	3,79
Volume de primário para pintura integral (L)	119,07	56,775	113,7
Preço total de pintura (€)	9 061,57	2 804,80	10 049,56
Razão entre preços da pintura	3,23x		3,58x

Tabela 20 Custos e quantidade de primários do setor Civil.

	Civil	
	AC1	PC1
Preço/Litro (€/L)	40,26	33,85
Litro/Kit (L)	15,14	4,73
Volume para pintura integral (L)	90,84	70,95
Preço total de pintura (€)	3 657,22	2 401,66
Razão entre preços de pintura final	1,52x	

Em ambos os setores, existe uma subida de custos associada à utilização dos produtos primários alternativos. Porém, é no setor Militar que a subida é extremamente elevada, ao assumir valores 3,58 vezes maiores aos custos relativos à utilização do primário PM1.

Este aumento de custos por parte dos primários alternativos deve-se a três fatores. Primeiramente, o intervalo de espessuras requeridas na TDS destes primários é superior à dos primários equivalentes com Cr(VI), o que eleva a quantidade de primário necessária para a mesma área.

Da mesma forma, o facto de a capacidade de cobertura destes primários ser inferior, aumenta ainda mais o consumo dos mesmos.

Por fim, o preço por litro para todos os casos é mais elevado, o que, acumulado aos fatores anteriores, faz com que o custo de aplicação destes primários chegue, no setor Militar, a ser três vezes superior comparativamente a primários equivalentes com Cr(VI).

A subida de preço quanto ao alternativo do setor civil não foi tão acentuada, mas o facto de a quantidade de litros por cada kit ser bastante mais elevada que os restantes primários, faz com que seja pouco flexível quanto à quantidade de primário que necessita de ser adquirida.

Isto leva-nos a concluir que, no presente, seja pouco viável a nível económico a implementação de primários alternativos, especialmente no setor militar.

Capítulo 7 - Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste capítulo apresentam-se as conclusões gerais deste trabalho e dos estudos que foram realizados assim como sugestões de trabalhos futuros.

7.1 - Conclusões

Na atualidade, a preocupação em reduzir a dependência de substâncias tóxicas em processos industriais tem vindo a aumentar, com o intuito de melhorar a saúde dos trabalhadores intervenientes e diminuir o impacto no ambiente. O uso de substâncias como compostos de crómio hexavalente na indústria aeronáutica é extenso e, muitas vezes, desempenha um papel crítico no cumprimento de parâmetros de desempenho e segurança, em particular, aqueles relacionados à aeronavegabilidade estabelecidos pela EASA.

Na OGMA, onde são prestados serviços de pintura de manutenção de aeronaves, a grande parte dos produtos primários utilizados contém compostos de Cr(VI), de acordo com os requisitos dos manuais aplicáveis e/ou especificados pelo cliente.

O Regulamento REACH, relativo ao registo, avaliação, autorização e restrição de substâncias químicas, foi criado para restringir o uso de substâncias prejudiciais à saúde humana e ao ambiente na União Europeia. Ao acionar a médio prazo um mecanismo de restrição destas substâncias, procura fomentar a investigação de substâncias alternativas com características equivalentes e que não sejam prejudiciais. Isto faz com que a OGMA necessite estar em conformidade com as obrigações referentes a um utilizador a jusante do Regulamento REACH e esteja atualizada quanto aos produtos primários alternativos disponíveis no mercado.

Com isto em mente, o trabalho desenvolvido na presente dissertação, permitiu alcançar algumas conclusões pertinentes quanto à viabilidade da implementação de primários em concordância com este Regulamento, nomeadamente o AM1B e AM1C no setor militar e o AC1 no setor civil. Os ensaios realizados adotaram uma metodologia definida por documentação interna de certificação da OGMA.

A eficiência, ao nível da capacidade de cobertura, massa e preço, mostrou ser baixa para os primários alternativos militares AM1B e AM1C, o que os torna pouco viáveis para implementar na pintura de uma aeronave integral. Apesar dos esforços de investigação ao longo dos anos terem conseguido competir com os atributos anticorrosivos e de aderência dos primários com base em Cr(VI), ainda há espaço para melhoria em relação à sua eficiência quanto aos fatores acima indicados. Isto faz com que, no momento presente, seja pouco apelativo por parte de fabricantes e entidades militares adotarem estes revestimentos.

A capacidade comprovada de primários à base de Cr(VI) de cobrir uma área considerável e inibir o substrato de adquirir corrosão a um preço baixo, dificulta a procura de primários alternativos com a mesma eficiência. Contudo, neste trabalho foi encontrado um primário no

setor Civil com potencialidade para se apresentar como alternativo. O primário AC1, está qualificado para proteger a superfície metálica de uma aeronave contra a corrosão, sendo menos prejudicial para a saúde humana e para o ambiente, com um preço semelhante.

Devido à necessidade de implementação de especificações com classes sem Cr(VI) e ao contexto da estrutura da indústria aeronáutica, os custos de adoção de alternativos podem ser significativos mesmo que existam opções promissoras, como o primário AC1. Estes possíveis custos incluem horas de engenharia para alterar o projeto e manuais, assim como o tempo e custos de recertificação. No entanto, a introdução de alternativos pode melhorar drasticamente quando implementados durante o desenvolvimento de novas aeronaves, uma vez que se tornam parte integrante do manual desde raiz.

Foi possível também compreender que, ao contrário do frequentemente pensado, o objetivo dos pedidos de autorização para utilizar SVHCs não é a proibição do uso desses produtos químicos, mas sim o de encorajar a substituição progressiva destes por alternativas mais seguras, permitindo que o seu uso continue após suas *sunset dates* somente quanto plenamente justificado. O uso pode continuar desde que seja demonstrado que os riscos de exposição conseguem ser adequadamente controlados e/ou que os custos de mudança para alternativos não são viáveis, o que é suportado pelos resultados desta dissertação.

Os custos de um cenário em que a utilização de tais substâncias seja completamente impedida seriam muito elevados para a indústria, clientes e para a economia europeia. Em suma, isto sugere um forte caso de justificação para autorização (de 7 a 12 anos) de substâncias chave, como o cromato de estrôncio, para a indústria aeronáutica, especialmente em aeronaves *legacy*, onde a recertificação é particularmente desafiadora.

A longo prazo, quando a busca por alternativos seguros e económicos for bem-sucedida, as SVHCs e subsequentes autorizações não serão mais necessárias. Até lá, é importante que as principais empresas no setor suportem e utilizem estes alternativos de forma a providenciarem provas empíricas da sua eficiência a longo prazo, encorajando assim, outras entidades a adotarem também estes produtos. Em termos ambientais e de saúde humana, todos os participantes no desenvolvimento, manufatura, e operação de uma aeronave sairão beneficiados.

A OGMA encontra-se capacitada para aplicar primários alternativos, visto que, o AM1B e AC1 já tinham sido solicitados por clientes em aplicações reduzidas a pequenas peças. Não é necessário um equipamento de aplicação diferente, apenas ser transmitido aos técnicos de pintura que alguns destes primários alternativos podem acarretar características de aplicabilidade um pouco distintas. Deste modo, a utilização de provetes e a inclusão destes primários em formações, são medidas essenciais para que sejam respeitadas as espessuras requeridas nas TDS, de forma a evitar horas de trabalho e custos adicionais.

Na sequência das conclusões apresentadas, a OGMA, como fornecedor de serviços de pintura de manutenção, tem a obrigação de se manter atualizada quanto ao estado dos pedidos

de autorização. A aceitação ou rejeição destes, vai determinar se a OGMA tem ou não de propor um produto alternativo ao seu cliente, caso haja substâncias interditas pelo REACH no seu pedido de cotação.

No caso de continuar a ser permitido o uso primários à base de Cr(VI), é imperativo adotar todas as medidas explícitas nas fichas de dados de segurança, que deverão ser mais restritas, assim como ponderar implementar mecanismos de monitorização dos níveis de exposição ao Cr(VI) por parte dos técnicos de pintura, devido aos riscos associados à exposição a agentes cancerígenos.

7.2 - Trabalhos futuros

Como proposta para uma eventual continuação deste estudo, com base nos aspetos que foram estabelecidos como limites para o trabalho e os resultados obtidos, recomenda-se o estudo da implementação de um pré-tratamento de superfície compatível com as operações da empresa, da implementação de sistemas automatizados de pintura de forma a reduzir o impacto da exposição no fator humano e da reavaliação nos próximos anos da oferta de primários alternativos qualificados no mercado.

Bibliografia

Agência Portuguesa do Ambiente. (2006). *Compostos Orgânicos Voláteis*. Obtido de <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=314&sub3ref=322>

Agência Portuguesa do Ambiente. (2012). *FAQ - Regulamento REACH*. Obtido de http://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/REACH/FAQ_REACH.pdf

AkzoNobel. (2013). *Composition of Paint*.

ANAC. (2014). *Regulamento (UE) N° 1321/2014*. Obtido de http://www.anac.pt/VPT/GENERIC/LEGISLACAOREGULAMENTACAO/LEGISLACAOSector/Documentos/Aeronavegabilidade/Regulamento_UE_1321_2014.pdf

Andrews, S. (2013). *Aircraft Paint Application Manual*.

Anti-Corrosion Methods and Materials Vol. 1. (1954). 36-37.

ASD. (2016). *REACH Substances in Articles*.

ASD. (2017). *ASD Sectoral Guidance for Substances in Articles under REACH*.

ASETSDefense. (2015). *Impact of European REACH Regulations on DoD and Military Equipment Manufacturers and Suppliers*.

Associação Empresarial de Portugal. (2010). *Future Competition - REACH*. Obtido de <http://www.pofc.qren.pt/areas-do-compet/accoes-colectivas/os-projectos-em-que-apostamos/entity/projeto-%E2%80%9Cfutur-compet%E2%80%9D?fromlist=1>

ASTM International. (2012). *Form and Style of Standards, ASTM Blue Book*.

Aviation Week. (2013). *EU Chemical Ban Effects European MROs*. Obtido de <http://aviationweek.com/awin/eu-chemical-ban-effects-european-mros>

CCST. (2015). *CCST Authorization Consortium Agreement*. Obtido de Jones Day: [http://www.jonesdayreach.com/Press%20Release/Press%20Release%20CCST%20Consortium%20March%202015%20\(Revised\).pdf](http://www.jonesdayreach.com/Press%20Release/Press%20Release%20CCST%20Consortium%20March%202015%20(Revised).pdf)

CCST Consortium. (2017). *Analysis of Alternatives*. Obtido de ECHA: <https://echa.europa.eu/documents/10162/1af648ff-919b-4b6b-9279-3d8b6cfe00f8>

Direção-Geral das Atividades Económicas. (2012). *Reach Helpdesk*. Obtido de <http://www.reachhelpdesk.pt/>

ECHA. (2006). *Regulamento REACH*. Obtido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/pt/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1907-20180301&from=EN>

- ECHA. (2014). *An elaboration of key aspects of the authorisation process in the context of aviation industry*. Obtido de https://echa.europa.eu/documents/10162/13552/aviation_authorisation_final_en.pdf
- ECHA. (2014). *ECHA's approach to transparency*. Obtido de http://echa.europa.eu/documents/10162/13608/mb_61_2014_echa_transparency_en.pdf
- ECHA. (2016). *Lista de Substâncias Sujeitas a Autorização no Anexo XIV do REACH*. Obtido de <https://echa.europa.eu/pt/authorisation-list>
- ECHA. (2018). *REACH Registration Statistics Infograph*. Obtido de <https://echa.europa.eu/pt/registration-statistics-infograph#>
- ECHA-EASA. (2014). *An elaboration of key aspects of the authorization process in the context of aviation industry*.
- ESTCP. (2012). *Joint DoD Demonstration and Validation of Magnesium-Rich Primer Coating Technology*. USDOD.
- GCCA Consortium. (2017). *Analysis of Alternatives*. Obtido de ECHA: <https://www.echa.europa.eu/documents/10162/b61428e5-e0d2-93e7-6740-2600bb3429a3>
- Gil, L., Andrade, M. H., & Costa, M. d. (2014). Os TRL (Technology Readiness Levels) como ferramenta na avaliação tecnológica. *Revista Ingenium*, 94-96.
- INCOSE. (2004). *Engenharia de Sistemas*. Obtido de www.geesufmg.com
- Johnson, J. A., & Bliss, C. Q. (2006). *UV-Cure Military Aerospace Coatings - An Emerging Market*. Radtech.
- Joseph. (1999). *Qualification of an Environmentally Safe and Effective Paint Removal Process for Aircraft*.
- Magalhães, C. (2015). *Corros. Prot. Mater.*, Vol. 34, N° 1.
- NAVAIR. (2010). Technical Manual 1-1500-344-23-2 Cleaning and Corrosion Control Vol. 2 Aircraft.
- OGMA. (2018). *OGMA*. Obtido de www.ogma.pt
- OSHB LD. (2003). *Guidance Notes on Paint Spraying and Related Coating Processes*. Obtido de <https://www.labour.gov.hk/eng/public/os/C/B123.pdf>
- Paint Coverage/Consumption Calculation*. (s.d.). Obtido de VF51 Tomcat: <http://www.vf51tomcat.com/docs/PaintCoverageCalculation.pdf>
- Park, R. M., Bena, J. F., Stayner, L. T., Smith, R. J., Gibb, H. J., & Lees, P. S. (2004). Hexavalent Chromium and Lung Cancer in the Chromate Industry: A Quantitative Risk Assessment.

Parlamento Europeu. (2006). Regulamento (CE) nº 1907/2006. *Jornal Oficial da União Europeia nº396/3. Registo, Avaliação, Autorização, e Restrição dos produtos químicos (REACH), Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia*. Obtido de *Jornal Oficial da União Europeia nº396/3. Registo, Avaliação, Autorização, e Restrição dos produtos químicos (REACH), Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia*.

Pellerin, C., & Booker, S. M. (2000). Reflections of Hexavalent Chrome: Health Hazards Of An Industrial Heavyweight. *Focus*.

PEXA. (2016). *Intended and unintended consequences of REACH*. Obtido de <http://www.pexa.com/wp-content/uploads/PPCJ-Nov-2016-BCF-Article-on-Aerospace-and-REACH.pdf>

Robins AFB. (2017). *TO 1-1-8 Technical Manual Application And Removal Of Organic Coatings, Aerospace And Non-Aerospace Equipment*. Secretary of the Air Force.

Rosaaen, D. (2017). *Hexavalent Chromium Exposure to Military Aircraft Painters*.

SAE. (2009). *Coating, Corrosion Preventive, Polyurethane For Aircraft Integral Fuel Tanks for Use to 250 °F (121 °C) AMSC27725*. Obtido de <https://www.sae.org/standards/content/amsc27725/>

SERDP. (1990). *Understanding the Science Behind How Methylene Chloride / Phenolic Chemical Paint Strippers Remove Coatings*.

US Coatings . (2016). *High Solids Coatings: A Visual Breakdown*. Obtido de *Coatings World*: https://www.coatingsworld.com/contents/view_infographics/2016-01-22/high-solids-coatings-a-visual-breakdown

USDOD. (2014). *Defense Standardization Program*. Obtido de <http://www.dsp.dla.mil/Policy-Guidance/FAQs/Performance-Specifications/>

Wilson, M. P., & Schwarzman, M. R. (2009). *Toward a New U.S. Chemicals Policy: Rebuilding the Foundation to Advance New Science, Green Chemistry, and Environmental Health Perspectives*.

Anexo 1

Super Complex Object : Commercial Aircraft

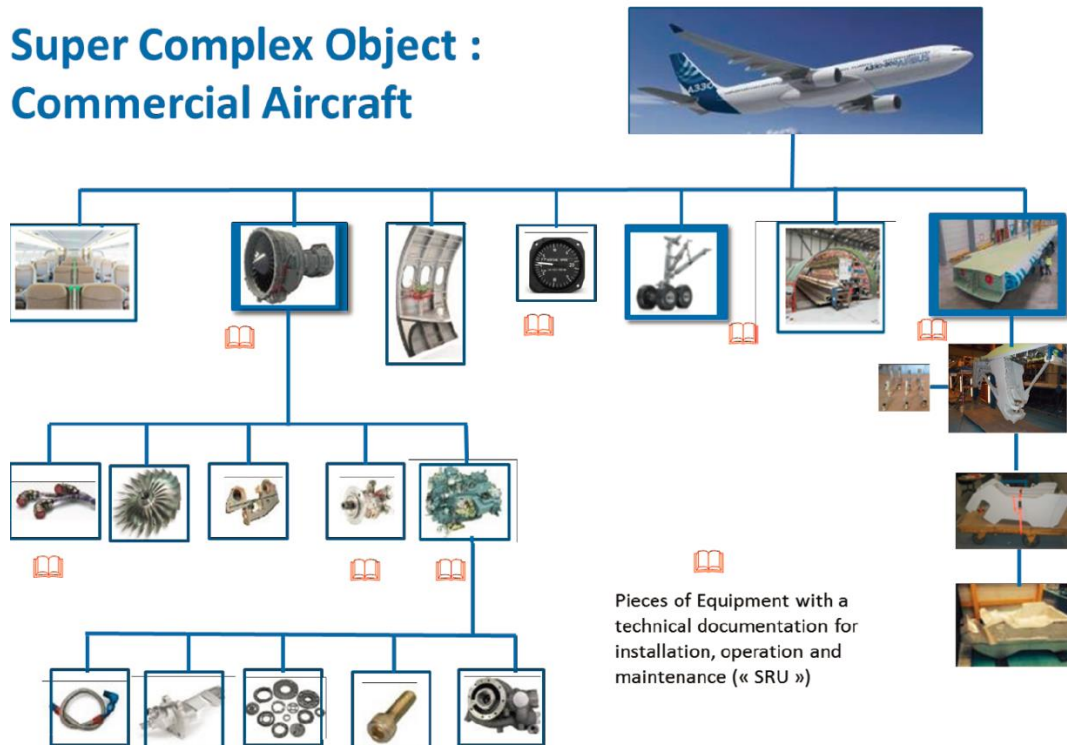


Figura 32 BOM (Lista de materiais) exemplo de aeronave comercial (ASD, 2017).

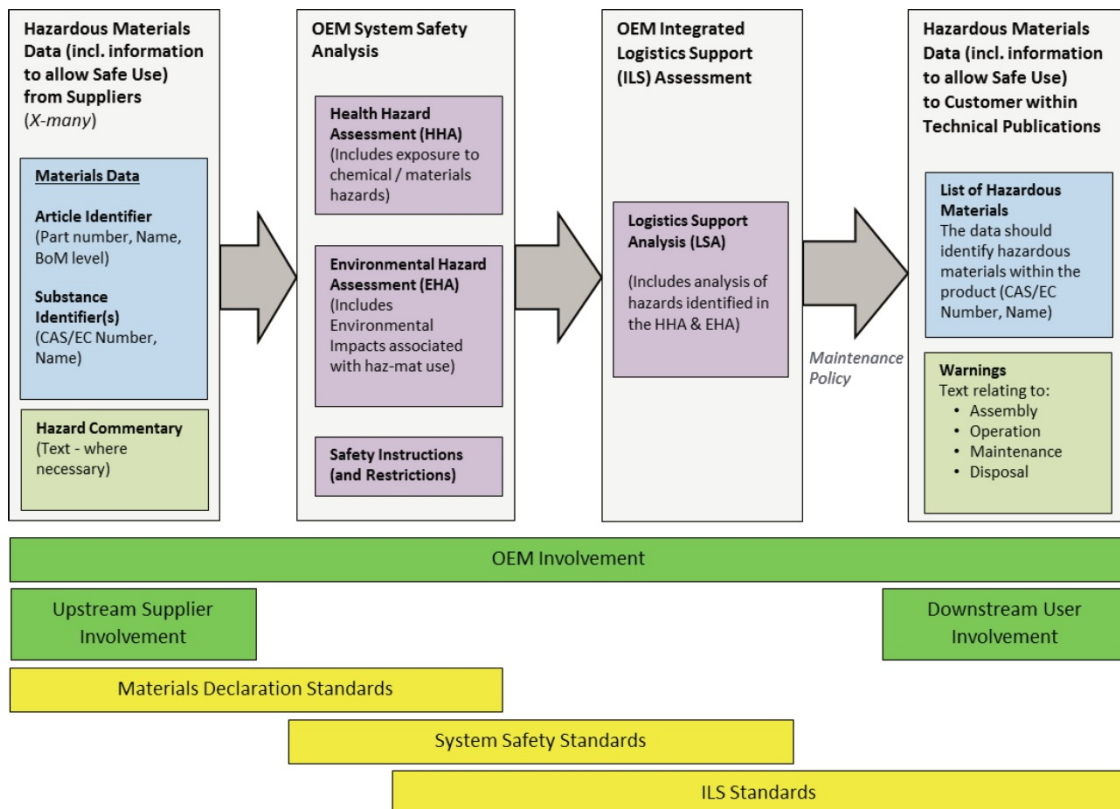


Figura 33 Fluxo de Dados de Materiais Perigosos na Documentação Técnica (ASD, 2017).

Cadmium on fasteners:

- Any cadmium plated fastener contains cadmium (CAS: 7440-43-9) above 0.1% w/w.
- Potential health effects.

When used as intended, cadmium plated fasteners should not pose any health hazard. The health effects listed below should not occur unless improper processing or installation of the fastener generates dust or fumes.

The fastener shall not be shaved, sanded, ground, welded or otherwise altered.

The following statements summarize the health effects generally expected in cases of over-exposures:

- Eyes Dust and fumes from processing:
 - Can cause irritation.
- Skin Dust and fumes from processing:
 - Can cause irritation.
- Inhalation Dust and fumes from processing:
 - cause irritation of the respiratory tract.
 - Acute overexposures: Can cause shortness of breath and inflammation of the lung tissues.
 - Chronic overexposures: Can cause central nervous system damage, liver damage, lung damage, reproductive harm and lung cancer.
 - Medical conditions aggravated by exposure to dust and fumes from processing:
Asthma, chronic lung disease, secondary Parkinson's disease and skin rashes.

Figura 34 Exemplo de informações à cerca do uso seguro (Cádmio em "fasteners") (ASD, 2017).

Arsenic, Cadmium and Lead

CAUTION

Certain components on the printed board assemblies contain substances such as lead, cadmium and arsenic. These substances are harmful to health and the environment when disposed of incorrectly.

CAUTION

Cadmium is harmful to health and the environment if disposed of incorrectly. It can be found in surface treatment of contacts and on printed board assemblies.

Note

Discarded printed board assemblies must be handled as harmful waste material. Obey local environmental protection regulations.

Note

Used components and contacts containing cadmium must be handled as harmful waste material. Obey local environmental protection regulations.

Figura 35 Exemplo de informação à cerca do uso seguro (Arsénico, Cádmio, Chumbo presentes em circuitos impressos) (ASD, 2017).