



### **UFCD 5797 - Noções sobre tecnologia de materiais aeronáuticos**

Início	Duração	Fim	Formadora
06 / 12 / 2013	25 Horas	12 / 12 / 2013	Cristina Parreira

### **Reflexão**

A UFCD 5797, Noções sobre tecnologia de materiais aeronáuticos teve como principais objetivos caracterizar a constituição dos materiais, identificar as principais classes de materiais, reconhecer as diferentes propriedades dos materiais, reconhecer os diferentes ensaios realizados nos materiais, reconhecer os diferentes tratamentos realizados nos materiais, reconhecer a importância dos tratamentos nos materiais utilizados na indústria aeronáutica, identificar as aplicações de tratamentos nos materiais utilizados na indústria aeronáutica e as suas funções, reconhecer e aplicar os procedimentos adequados na utilização de materiais tratados.

Nesta UFCD abordou-se um tipo de material muito usado na indústria aeronáutica o Alumínio, ficando-se a conhecer as suas ligas as suas séries e como são classificadas, que o alumínio é um exemplo de um metal auto protetor pois quando exposto ao ar forma uma película de alumina, ou seja, uma camada impermeável.

Após interiorizados estes novos conceitos e as suas propriedades e características, ficou-se a conhecer que através de tratamentos é possível melhorar as características dos materiais para se obter um melhor desempenho e por consequência um aumento da resistência, Tendo-se também uma primeira noção de ensaios não destrutivos e ensaios destrutivos de modo a testar os resultados dos diversos tipos de tratamentos de materiais.

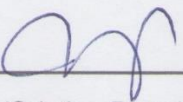


Instituto do Emprego e Formação Profissional, IP  
Delegação Regional do Alentejo  
Centro de Emprego e Formação Profissional de Évora

Apesar de algumas dificuldades por não estar familiarizado com os conceitos e termos, com o decorrer da UFCD e com a aplicação das aprendizagens em prática as dificuldades foram superadas, como evidência anexo a esta reflexão o relatório de grupo sobre vários testes e tratamentos aplicados a provetes.

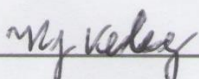
Évora, 22 de Janeiro de 2014.

A formadora



(Cristina Parreira)

O formando



(Hugo Velez)



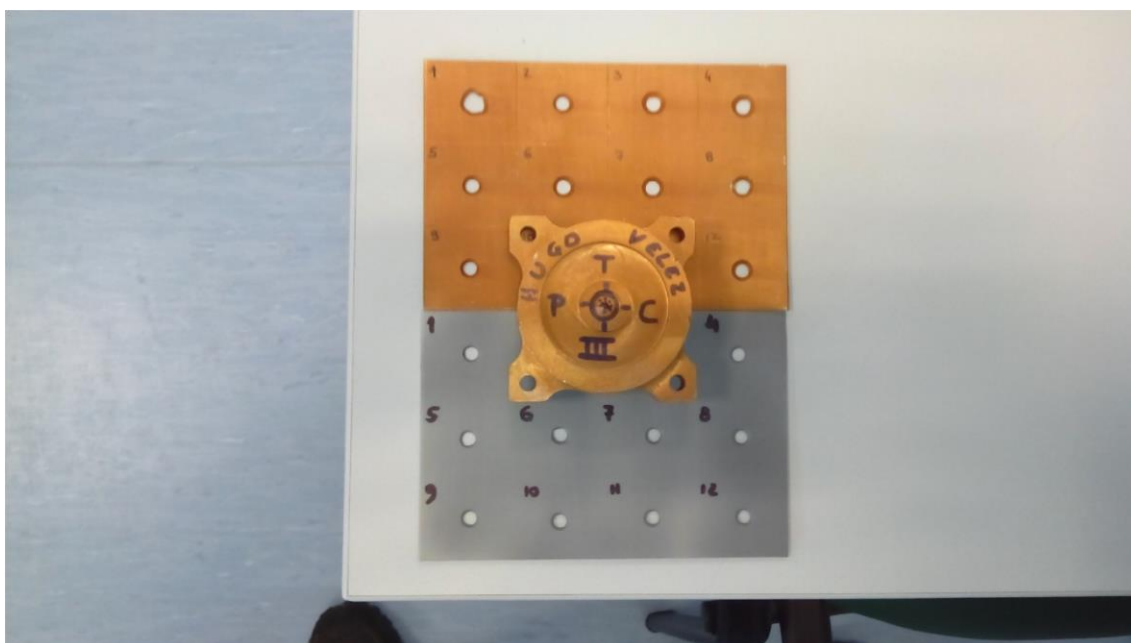
Instituto do Emprego e Formação Profissional, IP  
Delegação Regional do Alentejo  
Centro de Emprego e Formação Profissional de Évora

## UFCD 5807

### Processos especiais - prevenção contra a corrosão

## UFCD 5797

### Noções sobre tecnologia de materiais aeronáuticos



### Relatório de tratamentos aplicados a provetes de testes

A formadora

  
(Cristina Parreira)



## Índice

Objetivos.....	2
Introdução.....	3
Enquadramento histórico.....	3
Processo de produção.....	4
Classificação do Alumínio.....	7
Características importantes do alumínio na indústria aeronáutica.....	8
Processos de limpeza de superfície.....	8
Revestimentos.....	9
Revestimentos Metálicos.....	10
Revestimentos não metálicos (orgânicos).....	13
Revestimentos não metálicos (inorgânicos).....	14
Procedimentos.....	18
Apresentação de resultados.....	19
Discussão.....	20
Placas iniciais.....	21
Furação.....	21 e 22
Escareado.....	22
Granalhagem.....	23
Tratamento revestido.....	23 e 24
Resultados finais.....	25
Conclusão.....	26
Referencias Bibliográficas.....	27
Anexos.....	28



## Objetivos

- Reconhecer as diferentes propriedades dos materiais.
- Reconhecer os diferentes ensaios realizados aos materiais.
- Reconhecer os diferentes tratamentos realizados aos materiais.
- Reconhecer a importância dos tratamentos nos materiais utilizados na indústria aeronáutica.
- Identificar as aplicações de tratamentos nos materiais utilizados na indústria aeronáutica e as suas funções.
- Reconhecer e aplicar os procedimentos adequados na utilização dos materiais tratados.



## Introdução

### Materiais mais importantes em aeronáutica

De entre os materiais mais importantes em aeronáutica, podemos destacar alguns, tais como: material compósito (de matriz polimérica, metálica e cerâmica), ligas metálicas como, ligas de alumínio, ligas de aço, ligas de magnésio, ligas de titânio, superligas de níquel.

### Alumínio

#### Enquadramento histórico:

**1782** - Lavoisier – Identifica um óxido de um metal desconhecido;

**1809** - H. Davy - Obtém liga de ferro-alumínio em forno elétrico. Designando o novo metal, de “aluminium”;

**1825** - H. Oersted – Obtém os primeiros glóbulos de alumínio;

**1827** - F. Wohler - Produz pó de alumínio por redução de potássio de cloreto de alumínio. Estabelecendo a densidade do Alumínio;

**1854 a 1861** - Saint-Claire Deville - Melhora o processo de Wohler, utilizando o sódio como agente redutor no isolamento do alumínio. Mais tarde, com Le Chatelier, propõe um novo processo industrial - a eletrólise - para redução da alumina (usa criolite fundida c/cloreto de sódio). Paris, 1855, expõe o primeiro tarugo de alumínio. Comprova que o alumínio é bom condutor elétrico, não magnético e reciclável;



**1867 a 1869** - T. Gramme - Inventa, patenteia e põe em funcionamento o primeiro dínamo de corrente contínua que virá a permitir o processo eletrolítico.

**1886** - Charles Hall e Paul Héroult - Trabalhando em separado, chegaram “simultaneamente” a um novo método industrial de produção do alumínio – ELECTRÓLISE – ainda utilizado nos dias de hoje e denominado Hall/Héroult;

**1888 a 1890** - Criação das primeiras companhias de produção eletrolítica de alumínio em França, Suíça e USA;

**1890** - K. Bayer – Inventou uma nova metodologia para obtenção de alumina em larga escala, ainda hoje usada, por ataque da bauxite através de soda cáustica;

**1897** – Cúpula da Igreja de S. Joaquim em Roma - Primeira construção em alumínio de que há registo e que ainda hoje preserva o seu material e forma original.

### **Processo de produção:**

A obtenção do alumínio é feita a partir do mineral bauxite, o processo dá-se em três etapas: Lavra, Refinagem e Redução.

Os métodos de lavra empregados para a extração da bauxite variam de acordo com a natureza dos corpos mineralizados. Em geral a lavra destes minérios é realizada segundo o método, a céu aberto, por tiras ou strip mining. Devem ser consideradas três etapas na lavra da bauxite: a primeira delas consiste na retirada e armazenamento da vegetação e do solo vegetal, a segunda é a retirada das camadas de solo que cobrem a bauxite. A terceira é a extração de bauxite, previamente descoberta. Fazem-se cortes paralelos no solo seguindo essas três etapas, sendo que as camadas de solo removidas servirão de preenchimento para o corte previamente minerado.



A obtenção de Alumina por processo químico, refinagem, utiliza o método de Karl Bayer:

- O minério de Bauxite, após moagem, origina a farinha de bauxite a qual é misturada com uma solução de soda cáustica, à razão de 300kg para 1m<sup>3</sup>.
- A mistura é então aquecida sobre pressão – 180/200° a 150/200MPa, formando-se uma pasta (digestão).
- Após nova adição de soda cáustica, a pasta anteriormente obtida, dissolve-se originando uma solução que irá passar por vários processos de sedimentação e filtragem para eliminação de todas as impurezas (clarificação).
- A solução de Alumina é então enviada para precipitadores onde se depositará através de um processo denominado “cristalização por semente” (100 horas).
- O material cristalizado obtido é em seguida lavado e posteriormente seco em fornos rotativos aquecidos a 1100° (calcinação), obtendo-se assim a Alumina (óxido de alumínio) de elevado grau de pureza – 99,5/99,6%.
- A Alumina pura é um pó branco refinado de especto e consistência muito semelhante ao açúcar.

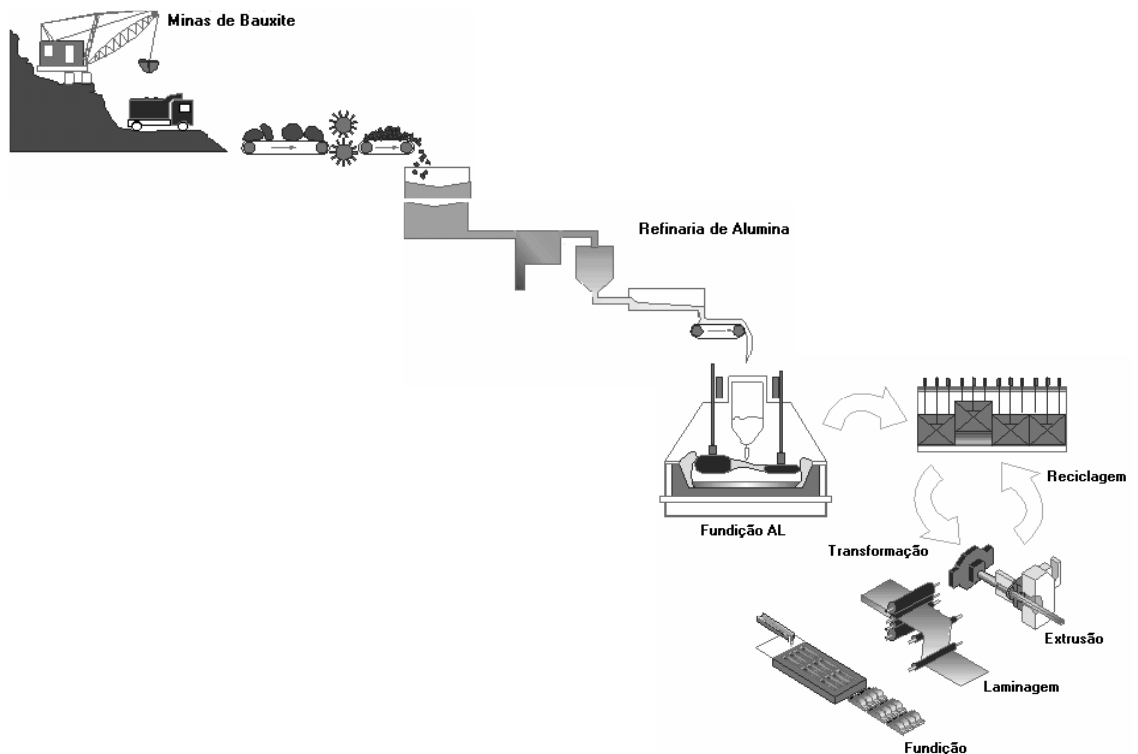
A obtenção de Alumínio através de um processo elétrico de fundição, é denominado - Eletrólise Ígnea da Alumina, segundo o método Hall/Hérault:

- O alumínio obtém-se por redução do oxigénio contido na alumina fazendo passar esta, após prévia adição de criolite aditivada (150kg para 2ton Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), por uma corrente elétrica contínua (eletrólise).





- Esta operação ocorre em grandes fornos (cubas) aquecidos a uma temperatura de 960/980°, utilizando para a passagem da corrente carbono puro como pasta do ânodo (+) e grafite como pasta do cátodo (-).
- O alumínio deposita-se no fundo da cuba sobre a pasta do cátodo enquanto o oxigénio que é libertado através do ânodo reage com este (gerando CO<sub>2</sub>) consumindo-o por combustão obrigando assim à sua frequente substituição.
- A cada 24 horas, o alumínio depositado no fundo do forno é extraído por um sistema de sifões funcionando por vácuo o que permite a sua aspiração sem arrastamento de sedimentos.
- O Alumínio produzido tem um grau de pureza de aproximadamente 99,7%.
- Sucessivas operações eletrolíticas de refinagem são possíveis até obter um grau de pureza na ordem dos 99.997%.



### Classificação do Alumínio:

A série da liga indica o elemento principal que está ligado com o alumínio.  
Sendo assim:

- As ligas de alumínio para trabalho mecânico sem tratamento térmico são: Série 1, 3 e 5;
- As ligas de alumínio para tratamento mecânico e térmico são: Série 2, 6 e 7.
- Ligas mais importantes na aeronáutica são: Série 2 e 7.
- Deste modo, o alumínio entra na fase de conformação mecânica, sendo colocado em moldes e arrefecido, até solidificar. Fica assim pronto para se produzirem placas, tarugos, lingotes, chapas, vergalhões, entre outros.



### **Características importantes do alumínio na indústria aeronáutica:**

- Baixa densidade em comparação com outros metais;
- Excelente resistência à corrosão devido à camada de Alumina;
- Boa resistência mecânica;
- Grande variedade de acabamentos (anodização, pintura);
- Fácil reciclagem.

### **Processos de limpeza de superfície:**

Para proporcionar condições adequadas à aderência do revestimento aplicado é necessário preparar e limpar o material que se pretende tratar.

No que respeita à limpeza de superfícies, temos a destacar diversos tipos de desgorduramento, a decapagem química e a mecânica.

#### **Desgorduramento:**

- Primeira etapa da limpeza, seguido da decapagem.
- Consiste na remoção das impurezas orgânicas (gorduras, óleos, lubrificantes, graxas, ceras, pastas de polimento) e de impurezas soltas (poeiras, sais, entre outras).
- Pode ser do tipo alcalino ou por meio de solventes (compostos principais são: hidróxidos, carbonatos, fosfatos, silicatos, boratos, detergentes).



### **Decapagem química:**

- A sua função é a remoção das camadas de óxidos e ou outras impurezas existentes na superfície metálica.
- Para esta ação, usam-se diversos tipos de ácidos, tais como: o sulfúrico, nítrico, clorídrico, fosfórico, muriático entre outros.
- A velocidade desta decapagem é influenciada por alguns fatores, entre eles a temperatura, o PH, a presença de inibidores, a concentração do ácido, ou até a agitação do banho.

### **Decapagem mecânica:**

- Principal função é a remoção das várias camadas de impurezas, por meio da força de um jato abrasivo (tais como: jato de areia, limalha de ferro, limalha e granalha de aço).
- Tem por objetivo deixar a superfície do metal limpa e pronta para se proceder à aplicação do revestimento.

Findo o processo de decapagem, o metal deve ser lavado (processo de neutralização) e proceder-se rapidamente à aplicação de um revestimento (temporário ou definitivo).

### **Revestimentos:**

Para que o revestimento seja de boa qualidade é necessário todo o processo de limpeza anteriormente explicado.



Principais finalidades dos revestimentos são:

- Resistência ao atrito, à fadiga e à corrosão;
- Recuperação de peças desgastadas;
- Endurecimento da superfície, aumentando a resistência mecânica.

Os revestimentos podem ser metálicos ou não metálicos (orgânicos e inorgânicos).

### **Revestimentos Metálicos:**

Consiste no depósito ou revestimento por parte de um metal na superfície de outro metal a ser tratado, criando um ânodo de proteção, fazendo com que a peça a ser revestida funcione como cátodo (sofrendo menos corrosão).

As técnicas mais utilizadas são: cementação, cladização, deposição em fase gasosa, eletrodeposição, imersão a quente, metalização e redução química.

### **Cementação:**

- O metal a proteger é colocado no interior de tambores rotativos em contacto com uma mistura de pó metálico e um fluxo adequado.
- Todo o material é aquecido a altas temperaturas permitindo a difusão do metal no material metálico (ação de uma força centrífuga).



### **Cladização:**

- Técnica realizada pela laminação conjunta, a quente, de chapas do metal base e do revestimento, pelo processo de explosão ou por solda.
- Nas ligas de alumínio, pretende-se aumentar a resistência mecânica, mantendo a boa resistência à corrosão do alumínio, usando o alclad (obtido pela cladização das ligas de alumínio com o alumínio metálico).

### **Deposição em fase gasosa:**

- O material aquecido a ser revestido sofre uma deposição por parte de uma substância volatilizada contendo um sal do metal a ser usado como revestimento.
- Método conveniente para revestir peças de formas complexas, que sejam difíceis de ser revestidos por outros métodos.

### **Eletrodeposição:**

- Consegue-se um revestimento muito fino, económico e livre de poros.
- Processo utilizado essencialmente com nos materiais: ouro, prata, estanho, cobre, níquel, cádmio, cromo e zinco.
- Envolve passagem de corrente elétrica (o metal a ser protegido é colocado como cátodo de uma cuba eletrolítica e o sal do metal a ser usado no revestimento funciona normalmente como ânodo).



### **Imersão a quente:**

- Obtém por imersão do material metálico a proteger, num banho de metal fundido.
- É muito usado para revestimento de aço com estanho, alumínio, cobre e zinco.
- O mais utilizado e conhecido é o revestimento do aço com zinco, denominado galvanização ou zincagem por imersão a quente.

### **Metalização:**

- Realiza-se utilizando uma pistola de aspersão ou de metalização, envolvendo temperaturas extremamente elevadas;
- Muito usada para a recuperação de peças gastas;
- Aplicação de revestimentos duros e proteção contra a corrosão.

### **Redução química:**

- Envolve a redução de iões metálicos existentes na solução.
- O metal é precipitado formando uma película aderente à base metálica.
- Usado para revestir peças de formas complexas e interiores de tubos.



### **Revestimentos não metálicos (orgânicos):**

Para proteger os materiais de ambientes agressivos usa-se muitas vezes revestimentos orgânicos, tais como, óleos anticorrosivos, vernizes, tintas e outros materiais.

Este revestimento também protege o material dos ambientes corrosivos.

### **Tintas:**

Têm função protetora.

Mecanismos de proteção obtidos por uma tinta são: barreira, inibição e eletroquímico.

- Barreira: que consiste na colocação de uma película impermeável entre o material e o meio corrosivo.
- Inibição: formação de uma camada passiva sobre a superfície do metal, impedindo a passagem deste para a forma iónica.
- Eletroquímico: tintas ricas em zinco que possibilitam a proteção catódica quando juntamos outro metal que lhe seja anódico.

Existem três tipos de tintas: primária, intermediária e de acabamento.

### **Tinta Primária:**

- Diretamente aplicadas ao material a proteger;

### **Tinta Intermediária:**

- Aumenta a espessura do revestimento;





- Melhora as características do revestimento, que pode ser de selagem (tie coat).

#### **Tinta de Acabamento:**

- Confere resistência química ao revestimento.
- Esta é uma camada de proteção externa que está em contacto com o meio corrosivo.

#### **Revestimentos não metálicos (inorgânicos):**

São constituídos por compostos inorgânicos que formados sobre a superfície do metal através de reações químicas ou depositados diretamente na superfície metálica.

Há a destacar: vidros (boa resistência à corrosão), esmaltes vitrosos (boa resistência a ácidos), cimentos e porcelanas (boa resistência aos meios alcalinos ou básicos), boretos, carbonetos, nitretos, óxidos.

Quando se pretende um revestimento resistente a elevadas temperaturas, ao desgaste por abrasão, para além de elevada resistência à corrosão, utilizam-se os Boretos, Carbonetos, Nitretos e Óxidos.

Os revestimentos formados na superfície do metal através de reações químicas entre o metal e o meio adequado, consistem normalmente na formação de um óxido ou sal do metal a ser revestido, formando uma camada superficial protetora. Este é o resultado da reação de oxidação, que impede a corrosão e separa o metal do meio ambiente. Processo denominado de Passivação.

A anodização, a cromatização e a fosfatização, são os revestimentos não metálicos que temos a destacar.



### **Anodização:**

- O alumínio quando exposto ao meio ambiente atmosférico, forma uma camada de óxido de alumínio, a que se dá o nome de Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).
- Essa camada confere ao metal não só uma grande resistência à corrosão mas também grande aderência e alta resistividade elétrica.
- Confere à alumina uma capacidade protetora (excelente revestimento para o alumínio).
- Com o objetivo de obter a camada de óxido, em espessuras maiores, procede-se à oxidação por métodos eletrolíticos.
- A oxidação eletrolítica consiste em tratar o metal, numa solução ácida adequada, colocando o material metálico como ânodo, envolvendo a passagem de corrente elétrica.
- Permite controlar a espessura da camada de óxido, sendo que, após a mesma é necessário fazer a selagem para vedar os poros da camada, tornando-a mais resistente à corrosão atmosférica e aos agentes químicos.

### **Cromatização:**

- Revestimento obtido é produzido em soluções contendo cromatos ou ácido crómico.
- Consiste na aplicação de uma camada de sal cromato ( $\text{CrO}_4$ )-2 e óxido, sobre o material metálico como sendo o magnésio, o zinco, o alumínio.
- Considerado um tratamento temporário.



- Aplicado sobre o metal para aumentar a resistência à corrosão e melhorar a aderência de tintas.
- Aplicado sobre óxidos ou fosfato com a função de vedar os poros, sendo que este processo é mais eficaz para o efeito do que a fosfatização ou a anodização.
- Ocorre geralmente à temperatura ambiente, demora relativamente pouco tempo e podem ser adicionados aos banhos ativadores (sulfato, nitrato, cloreto, fosfato e o acetato)
- Pode ser usada para selar as superfícies anteriormente fosfatizadas.

#### **Fosfatização:**

- Aplicação de uma camada de sal fosfato  $[(PO_4)-3]$ , sobre o material metálico como sendo o ferro, o zinco, o alumínio.
- O metal a ser tratado é inserido num banho de ácido fosfórico, que aceleram a reação e alguns sais de metais como sendo o cobre e o níquel, num ambiente ácido com PH menor que 7.
- Considerada tratamento temporário.
- Promove aderência do revestimento (pintura).
- Aumenta a resistência à corrosão e a resistência elétrica.
- Melhora o aspeto da superfície.
- Tempo e temperatura influenciam a fosfatização.
- Pouco tempo pode ser insuficiente para que a reação ocorra. Muito tempo aumenta o tamanho dos cristais de fosfato sem aumentar a camada protetora, o que resulta em perda de rugosidade da superfície.



- Temperatura alta forma cristais de fosfato demasiado grandes que prejudicam a rugosidade. Muito baixa a reação pode não ocorrer.



## Procedimentos

### 1. Equipamento de Proteção Individual (EPI):

Óculos, Máscara de Químicos e Luvas

### 2. Preparação dos Provetes

2.1 – Com papel e MEK limpar os provetes

2.2 - Identificar, pesar e medir cada um dos provetes.

2.3 – Dividir os provetes em 12 quadrados

2.4 – Medir a dureza em cada um dos quadrados

2.5 – Furar cada um dos quadrados e medir a dureza

2.6 – Escarear cada um dos quadrados e medir a dureza

2.7 – Pesar cada um dos Provetes

### 3. Aplicação de Revestimentos

3.1 – Aplicar granalhagem a um dos provetes

3.2 – Limpar todos os provetes com MEK

3.3 – Aplicar os diferentes revestimentos (Alodine, cromatização e Anodização)

3.3.1 – Deverá ser realizado o teste de desgorduramento após a tina 4 e 4ª) bastando para tal fazer correr um fio de água pela superfície, se o fio não quebrar então o desgorduramento está OK.

3.4 – Pesar cada um dos provetes

### 4. Verificação de Propriedades finais do material

4.1 – Medir a rugosidade das peças tratadas

4.2 – Medir resistência elétrica

4.3 – Medir dureza das peças



## Apresentação de Resultados

Placa 1		Placa 2	
Espessura (mm)	1,00	Espessura (mm)	1,10
Largura (mm)	81,00	Largura (mm)	82,00
Comprimento (mm)	120,00	Comprimento (mm)	120,00
Área (mm <sup>2</sup> )	9720,00	Área (mm <sup>2</sup> )	9840,00
Volume (mm <sup>3</sup> )	9720,00	Volume (mm <sup>3</sup> )	10824,00

		Placa 1				Placa 2			
		Placas originais	Placas Furadas	Placas Escareada	Apos processo de granalhagem	Placas originais	Placas Furadas	Placas Escareada	Tratamento Alodine: sem processo de granalhagem
Dureza	1	470	506	498	516	516	489	479	572
	2	481	504	500	517	484	489	456	608
	3	486	497	495	513	474	482	515	618
	4	480	499	498	529	475	501	496	638
	5	483	509	500	523	489	489	498	538
	6	500	494	491	513	495	488	452	622
	7	495	493	495	505	482	486	474	639
	8	491	487	491	509	470	482	437	632
	9	494	500	496	508	490	475	494	568
	10	484	491	514	511	514	503	492	579
	11	493	500	490	504	486	488	499	622
	12	484	494	502	517	489	496	411	591
Média		486,75	497,83	497,50	513,75	488,67	489,00	475,25	602,25
Desvio padrão		8,21	6,45	6,47	7,26	14,32	7,94	30,51	32,27
Peso		22,28	21,88	21,73	21,71	22,60	21,97	21,77	21,79
Densidade g/cm³		2,29	2,25	2,24	2,23	2087,95	2029,75	2011,27	2013,12

	Condutividade		Rugosidade	
			Ra(μm)	RZ(μm)
Placas originais	Sim		0,08	0,60
Placa 1 com processo de granalhagem após tratamento de Anodização:	Não		3,23	18,92
Placa 2 sem processo de granalhagem após tratamento de Alodine:	Sim		0,39	3,57



## Discussão

### Placas iniciais

Na oficina de montagem de estruturas foi feita a limpeza de duas placas de provete de teste em material Alumínio com papel e MEK, foram tiradas mediadas e espessuras utilizando o paquímetro, e também pesados os pesos iniciais através da balança digital apresentando o peso de 22,28g na placa 1 e 22,60g na placa 2, cada placa foi dividida em 12 subdivisões utilizando uma escala métrica e riscador de modo a tirar valores em várias extensões das placas, realizaram-se testes de dureza utilizando o durômetro Digital verificando-se alterações de dureza ao longo da extensão de ambas as placas, apresentando um valor mínimo de 470HL e um valor máximo de 500HL (Hardness Leeb) na placa 1 o que deu um valor médio de 486,75HL nas 12 medições, já na placa 2 o valor médio foi de 488,67HL o que significa que se encontra ligeiramente com um pequeno grau de dureza superior.



### Furação

De seguida procedeu-se á furação das subdivisões das duas placas utilizando a furadeira pneumática e utilizando os devidos EPI's de proteção (bata, calçado de proteção, óculos de proteção), foi feito um furo inicial de com uma broca de diâmetro 3.5mm e depois um furo final de diâmetro 4,5mm retirando de seguida as rebarbas e limpando-se novamente as placas, efetuou-se novamente





a pesagem das placas onde se verificou uma significativa perda de peso de 0,4g



na placa 1 e 0.63g na placa 2 devido a perda de material, de seguida efetuou-se um novo teste de dureza ao Alumínio onde já foi possível verificar uma alteração de dureza em relação ao primeiro teste, na

placa 1 apresentou o valor mínimo de 487HL e o valor máximo de 509HL aumentando a dureza média em 11,08HL em relação ao primeiro teste, ou seja sofreram um ligeiro aumento de dureza devido a um acumular de tensões criado pela furação, na placa 2 o resultado foi o mesmo embora que diferente passando de uma dureza média de 488,67HL para 489HL ou seja um ganho de 0,33HL.

## Escareado

De seguida efetuou-se escareado nos furos das placas utilizando um escareador embutido na furadeira, sendo as placas novamente submetidas a pesagens apresentando a placa 1 agora o peso de 21,73g, menos 0,55g do que apresentava inicialmente, e a placa 2 21,77g menos 0.83g do que inicialmente porque voltaram a perder mais material, em relação aos testes de dureza os resultados apresentaram resultados diferentes aos realizados anteriormente, ou seja não se voltou a registar um aumento de dureza mas sim uma perda de dureza em ambas as placas, passando a placa 1 de 497,83HL de dureza média para 497,50HL sendo uma ligeira perda de 0,33HL, como na placa 2 também houve uma perda de dureza média de 13,75HL conclui-se que houve alteração devido ao escareado, talvez por alívio de tensões ou alterações de temperatura no alumínio.





## Granalhagem

Na sala de acabamentos utilizando os devidos EPI's (bata, calçado de proteção, óculos de proteção, luvas, máscara de poeiras e supressores), foi efetuado na placa 1 um processo de limpeza mecânico abrasivo denominado granalhagem, efetuando uma limpeza superficial na peça de alumínio logo visualmente diferente, depois de limpa comparando agora o peso com o antes de ser granalhada passou de 21,73g para 21,71g perdendo apenas 0,02g derivado á perda de camada superficial devido á ação



abrasiva da granalhagem, quanto á dureza houve alterações significativas passando do valor de dureza mínimo apenas com escareado de 490HL para o valor mínimo de 504HL após a granalhagem, e os valores máximos de 514HL para 529HL ou seja um ganho de dureza médio de 16,25HL, isto devido a um acumular de tenções submetido pela abrasão da granalhagem.

## Tratamento revestido

Já na oficina de tratamento de metais foi-nos dado a escolher dois de três tratamentos de revestimento sendo eles conversão química por Alodine 1200s ou Chromital, e Oxidação Anódica Crómica (Anodização), os tratamentos escolhidos pelo nosso grupo foram Anodização para a placa 1 que tinha também sido submetida á granalhagem, e para a placa 2 mais uma peça trabalhada por



outros formandos em CNC que foi escolhida por nós na oficina de CNC escolhemos o Alodine, foram utilizados os EPI,s obrigatórios (bata, calçado de proteção, óculos de proteção, luvas e máscara de químicos), sendo de seguida fornecido pela formadora fichas sequenciais processuais para sabermos os passos que tínhamos de seguir, limpam-se com scotch-brite e Ajax os provetes e os arames que serviram para suspender os provetes que permitem a condução



de corrente elétrica nas tinas permitindo assim o processo eletrolítico, de seguida passaram-se os provetes pelo banho turco 6849 para um pré desengorduramento durante 10 minutos á temperatura de 60°C

passando depois para a lavagem dupla em contra corrente á temperatura ambiente sendo o processo dividido em duas tinas durante 2 minutos cada uma, passando depois pela tina desengorduramento alcalino turco 4215 durante 15 minutos á temperatura de 65°C, de seguida foram novamente submetidos á lavagem dupla em contracorrente durante 4 minutos, passando de seguida para desoxidação acida socosurf 1858 durante 5 minutos á temperatura de 45°C, passando de seguida novamente pela tina de lavagem dupla em contracorrente, a seguir a placa 1 foi submetida ao banho de oxidação anódica crómica á temperatura de 40°C durante 40 minutos, e a placa 2 á tina de conversão química de alodine 1200 S a temperatura ambiente durante 2 minutos, apos estes processos as placas passaram novamente pela lavagem em dupla corrente durante 8 minutos passando de seguida para a secagem a 60°C durante 15 minutos.





## Resultados finais

Após os tratamentos químicos que foram os tratamentos finais submetidos às placas, foi possível retirar os dados finais dos dois provetes comparando com os resultados retirados inicialmente sem qualquer alteração.

Assim sendo a placa 1 apresentou inicialmente como média de dureza 486,75HL não sendo possível determinar o valor de dureza após o processo de Anodização devido a não haver disponibilidade do Durômetro Digital mas após a granalhagem apresentava uma dureza média de 513,75HL um ganho de 27HL de dureza derivado ao acumular de tenções, já o desvio padrão passou de 8,21 para 7,26, teve uma perda de peso passando de 22,28g para 21,71g devido a perda de material nos processos de furação, escareado e granalhagem, perdeu também densidade descendo das 2,29g/cm<sup>3</sup> para 2,23 g/cm<sup>3</sup>, devido ao tratamento revestido de oxidação anódica crômica deixou de ter condutividade elétrica, o que foi verificado com recurso a um Multímetro, também utilizando Rugosímetro foi-nos possível verificar a alteração de rugosidade passando de uma rugosidade inicial de 0,08Ra(μm) e 0,60RZ(μm) para 3,23Ra(μm) e 18,92RZ(μm) um aumento de rugosidade de 3,15Ra(μm) e 18,32RZ(μm) devido ao processo de granalhagem e anodização.



A placa 2 apresentou inicialmente como média de dureza 488,67HL e após o tratamento de conversão química de alodine 1200 S uma dureza média de 602,25HL um ganho de 113,58HL de dureza, o desvio padrão passou de 14,32 para 32,27, houve também uma perda de peso de 0,81g passando de 22,60g para 21,79g pois houve perda de material inicial, houve perda de densidade descendo das 2,09g/cm<sup>3</sup> para 2,01g/cm<sup>3</sup>, mesmo após o tratamento



revestido de alodine continuou a ter condutividade elétrica verificando-se com o Multímetro, e utilizando o Rugosímetro registaram-se os valores de  $0,39Ra(\mu m)$  e  $3,57RZ(\mu m)$  alterações de

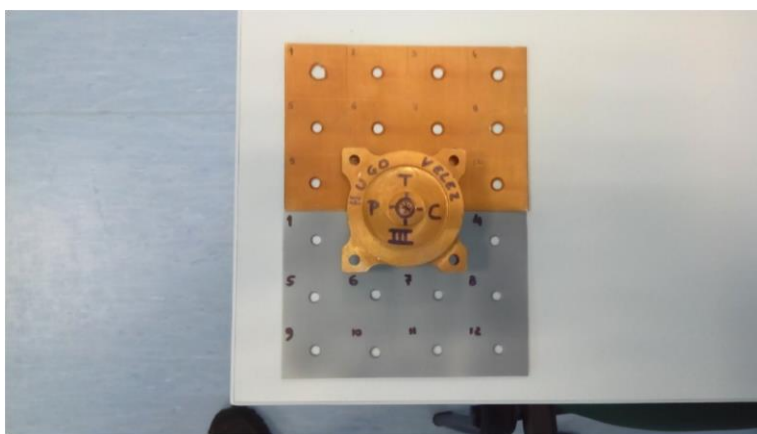
$0,31Ra(\mu m)$  e  $2,97RZ(\mu m)$  para os valores apresentados inicialmente.



## Conclusão

Com a conclusão deste trabalho fica-se a saber mais um pouco sobre os materiais usados na aeronáutica, em que neste relatório em específico se aborda o Alumínio bem como o seu enquadramento histórico, processo de produção, classificação, as suas características importantes na indústria aeronáutica; reviu-se também os processos de limpeza de superfície como o desengorduramento, a decapagem química e mecânica, os revestimentos metálicos como a cementação, cladização, deposição em fase gasosa, eletrodeposição, imersão a quente, metalização, redução química, os revestimentos não metálicos orgânicos sendo estes tintas e revestimentos não metálicos inorgânicos que são a anodização, cromatização e a fosfatização.

Foi ainda possível tirar registo de dois provetes de teste em Alumínio, que foram submetidos a vários processos tal como furação, escareado, granalhagem, e tratamentos revestidos como o Alodine e a Anodização, e durante estes vários processos ir retirando vários registos como para além de medidas dimensionais dos provetes, a sua dureza, desvio padrão, peso, densidade, condutividade e rugosidade, sendo possível analisar que os mesmos variam consoante os vários procedimentos, concluiu-se assim que após os vários processos ambos os provetes aumentaram a sua dureza e rugosidade, diminuindo



o peso e densidade e ainda que após da passagem de uma das placas pelo banho de Anodização deixou de permitir a condutividade elétrica.



Instituto do Emprego e Formação Profissional, IP  
Delegação Regional do Alentejo  
Centro de Emprego e Formação Profissional de Évora

## Referencias Bibliográficas

Cópias e Sebenta fornecidas pela formadora

<http://pt.calameo.com/read/001790462c06c46a9cd46>





## Anexos

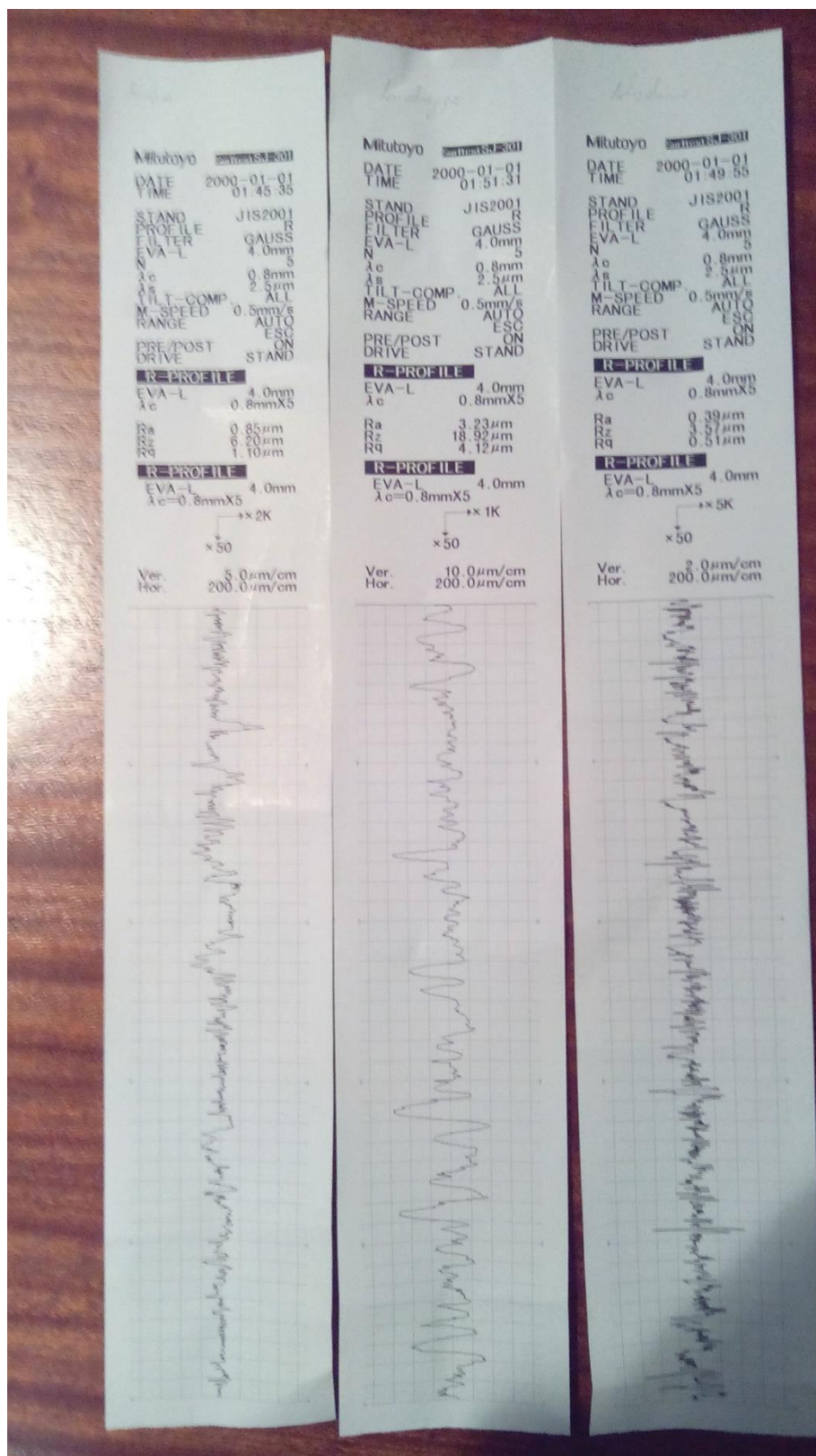
IEFP		FICHA DE SEQUÊNCIA PROCESSUAL				CLIENTE (Customer)	
CENTRO DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL DE ÉVORA		(Process Sequence Chart)				Não Aplicável	
INSTALAÇÃO PILOTO		DESIGNAÇÃO DO PROCESSO (Process Designation)	CÓDIGO (Code) Não Aplicável	APROVADO POR (Visa) Salvador Henriques	ENCOMENDA (Order) Não Aplicável	DATA (Date)	
		CONVERSÃO QUÍMICA, LIGAS DE ALUMÍNIO MIL-C-5541 C, CLASSE 1a (COM CRÓMIO HEXAVALENTE)				12 NOVEMBRO 2012	
SEQUÊNCIA (Sequence)	TINA (Tank)	DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Operation Description)	DENSIDADE DE CORRENTE (Current Density-Amp./dm <sup>2</sup> )	TEMPERATURA (Temperature)	TEMPO (Time)	VISA	
						PROD.	CQ
01		SUSPENSÃO DOS PROJETOS NOS SUPORTES		AMBIENTE	O requerido		
02	1	PRÉ DESENGORDURAMENTO, TURCO 6849		60° C	10 min.		
03	2/2a	LAVAGEM DUPLA EM CONTRA CORRENTE		AMBIENTE	2+2min.		
04	3	DESENGORDURAMENTO ALCALINO, TURCO 4215		65° C	15min.		
05	4/4a	LAVAGEM DUPLA EM CONTRA CORRENTE		AMBIENTE	2+2min.		
06	5	DESODORIZAÇÃO ÁCIDA, SOCOSURF 1858		45° C	5 min.		
07	6/6a	LAVAGEM DUPLA EM CONTRA CORRENTE		AMBIENTE	3+3min.		
08	8	CONVERSÃO QUÍMICA, ALODINE 1200 S		AMBIENTE	2 min.		
09	9/9a	LAVAGEM DUPLA EM CONTRA CORRENTE		AMBIENTE	3+5min.		
10	13	SECAGEM		60° C	15 min.		
11		REMOÇÃO DOS PROJETOS NOS SUPORTES		AMBIENTE	O requerido		
12		INSPEÇÃO DO TRATAMENTO		AMBIENTE	O requerido		

Ficha de sequencia processual para a conversão química Alodine 1200 S

IEFP		FICHA DE SEQUÊNCIA PROCESSUAL				CLIENTE (Customer)	
CENTRO DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL DE ÉVORA		(Process Sequence Chart)				Não Aplicável	
INSTALAÇÃO PILOTO		DESIGNAÇÃO DO PROCESSO (Process Designation)	CÓDIGO (Code) Não Aplicável	APROVADO POR (Visa) Salvador Henriques	ENCOMENDA (Order) Não Aplicável	DATA (Date)	
		OXIDAÇÃO ANÓDICA CRÓMICA, LIGAS DE ALUMÍNIO MIL-A-8625F, TIPO 1 (COM COLMATAÇÃO SIMPLES)				12 NOVEMBRO 2012	
SEQUÊNCIA (Sequence)	TINA (Tank)	DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Operation Description)	DENSIDADE DE CORRENTE (Current Density-Amp./dm <sup>2</sup> )	TEMPERATURA (Temperature)	TEMPO (Time)	VISA	
						PROD.	CQ
01		SUSPENSÃO DOS PROJETOS NOS SUPORTES		AMBIENTE	O requerido		
02	1	PRÉ DESENGORDURAMENTO, TURCO 6849		60° C	10 min.		
03	2/2a	LAVAGEM DUPLA EM CONTRA CORRENTE		AMBIENTE	2+2min.		
04	3	DESENGORDURAMENTO ALCALINO, TURCO 4215		65° C	15min.		
05	4/4a	LAVAGEM DUPLA EM CONTRA CORRENTE		AMBIENTE	2+2min.		
06	5	DESODORIZAÇÃO ÁCIDA, SOCOSURF 1858		45° C	5 min.		
07	6/6a	LAVAGEM DUPLA EM CONTRA CORRENTE		AMBIENTE	3+3min.		
08	10	OXIDAÇÃO ANÓDICA CRÓMICA	VER CICLO ELÉTRICO	40° C	40 min.		
09	11/11a	LAVAGEM DUPLA EM CONTRA CORRENTE		AMBIENTE	3+5min.		
10	12	COLMATAÇÃO SIMPLES EM ÁGUA		95° C	20 min.		
11		REMOÇÃO DOS PROJETOS NOS SUPORTES		AMBIENTE	O requerido		
12		INSPEÇÃO DO TRATAMENTO		AMBIENTE	O requerido		

Time (Minutes)	Voltage (V)
0	0
10	40
35	40
40	50
60	50

Ficha de sequencia processual para a Oxidação Anódica Crómica  
(Anodização)



Talões do rugosímetro