

## Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: ANÁLISE DE FALHAS EM MATERIAIS DE ACIDENTES AERONÁUTICOS  
Bolsista: Annelise Yuri Sakurai  
Orientador(a): Leandro Augusto Lemos Franco  
Período a que se refere o relatório: Agosto de 2017 a Julho de 2018

### Resumo

A análise de falhas em acidentes aeronáuticos é de suma importância para que sejam descobertas as causas que geraram a falha e assim tomar-se as precauções necessárias nas futuras prevenções de acidentes e nas manutenções prestadas e para que não ocorram futuros incidentes. A falha é um evento indesejável, pois podem ocorrer perdas e danos ou exposição a riscos, e quando o fator é material existem vários motivos que podem ter levado a falha, dentre eles estão: manutenção inadequada, problemas no projeto, no processamento do material, erros operacionais, entre outros.

Com isso teve-se nessa iniciação científica como objetivos desenvolver e melhorar as técnicas de análises de falhas e materialografia já existentes, para que em um futuro consiga-se prevenir a recorrência dos problemas citados. Durante esse ano, realizou-se uma série de análises seguindo as seguintes etapas: recebimento e registro fotográfico, análise estereoscópica, análise metalográfica e microscopia eletrônica para assim determinar-se a causa raiz da falha. Entre os componentes estudados, está um contrapeso de uma pá de hélice.

### 1. Introdução

O Instituto de Atividades Espaciais (IAE) iniciou seu funcionamento em 17 de outubro de 1969, cujo núcleo só foi ativado em 20 de agosto de 1971, constituído do pessoal e instalações do GETEPE e do Departamento de Assuntos Especiais do IPD.<sup>[1]</sup>

A Divisão de Materiais ( AMR- IAE) é o setor responsável pela investigação de falhas em materiais de acidentes aeronáuticos e onde toda a pesquisa foi desenvolvida. Primeiramente realizamos treinamentos dos métodos de análise não-destrutivo e destrutivo (metalografia)



com uma seção de alumínio e um aço pertencente a uma engrenagem. Posteriormente realizou-se várias outras análises entre elas o de uma pá de hélice pertencente a um avião de pequeno porte que fraturou caindo uma parte no mar. Os resultados foram abordados no relatório parcial.

Uma das últimas análises realizadas, refere-se a um contrapeso pertencente a uma hélice de um helicóptero, que fraturou durante decolagem gerando instabilidade.

## **2. Materiais e Métodos**

### **2.1 Aprendizagem das técnicas de análise**

Primeiramente desenvolveu-se o conhecimento das técnicas não-destrutivas de análise que consistem em: recebimento do material, registro fotográfico, análise visual e se possível análise estereoscópica. Em muitos casos apenas com essa primeira etapa já é possível reconhecer as causas da falha.

Posteriormente foi realizado o treinamento da análise destrutiva do material, chamado metalografia que consiste em: corte do material contendo a região de falha, embutimento à quente, lixamento e polimento, ataque químico por imersão e por fim a análise microscópica que permite reconhecer a microestrutura do material.

Em todas as amostras analisadas no embutimento à quente foi utilizado baquelite para embutir, prestando atenção às devidas temperaturas e pressões aplicadas. Além disso, a prática de lixamento e polimento é de devida importância pois deve-se evitar o facetamento e/ou super polimento do material, o que pode acarretar em problemas durante a identificação da causa da falha.



Figura 1: Estereoscópio.

O primeiro material analisado foi uma seção de liga de alumínio, que por ser um material menos dúctil pode ser cortada com o uso de uma serra manual.



Figura 2: Amostra de alumínio embutida e polida.

Após o lixamento e polimento da amostra, foi realizado ataque químico por imersão com o ácido Keller, onde revelou-se a microestrutura do material como observado na figura 3.

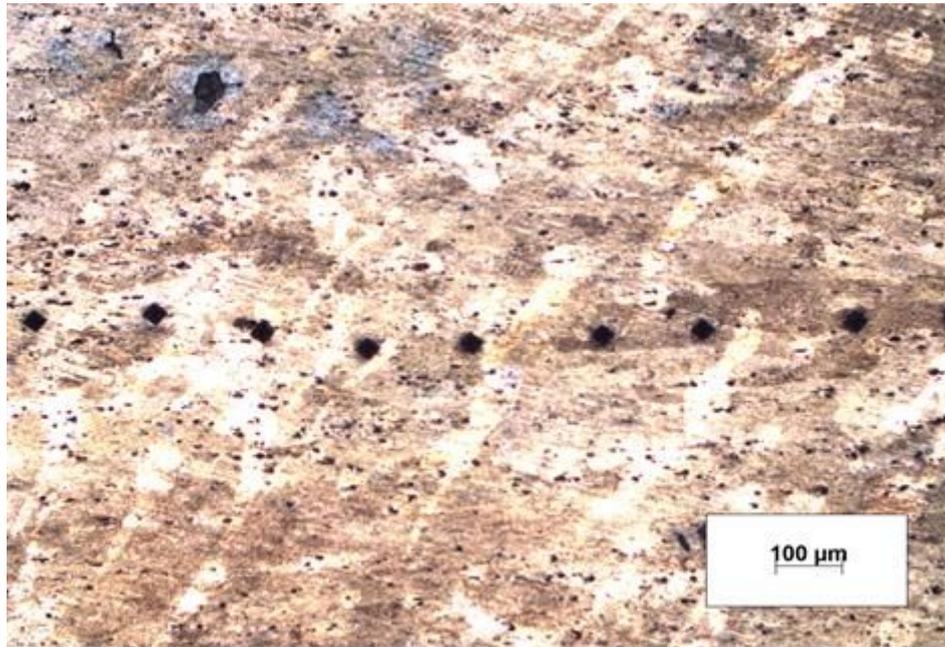


Figura 3: Imagem microscópica da liga de alumínio.

O segundo material analisado foi um aço pertencente a uma engrenagem, por ser um material mais duro foi necessário realizar o corte em uma cortadeira diamantada. Após o lixamento e polimento da amostra (figura 4), foi realizado também o ataque químico por imersão com o ácido Nital (3%), onde revelou-se a microestrutura do material como observado na figura 5.

O ácido Keller é comumente usado para ataque a ligas de alumínio, sendo composto principalmente de ácido acético e cloreto férrico. Enquanto que o ácido Nital é comumente utilizado para ataque de aços e ferro sendo composto principalmente de álcool etílico e ácido nítrico.<sup>[2]</sup>



Figura 4: Amostra de aço embutida, polida e atacada.

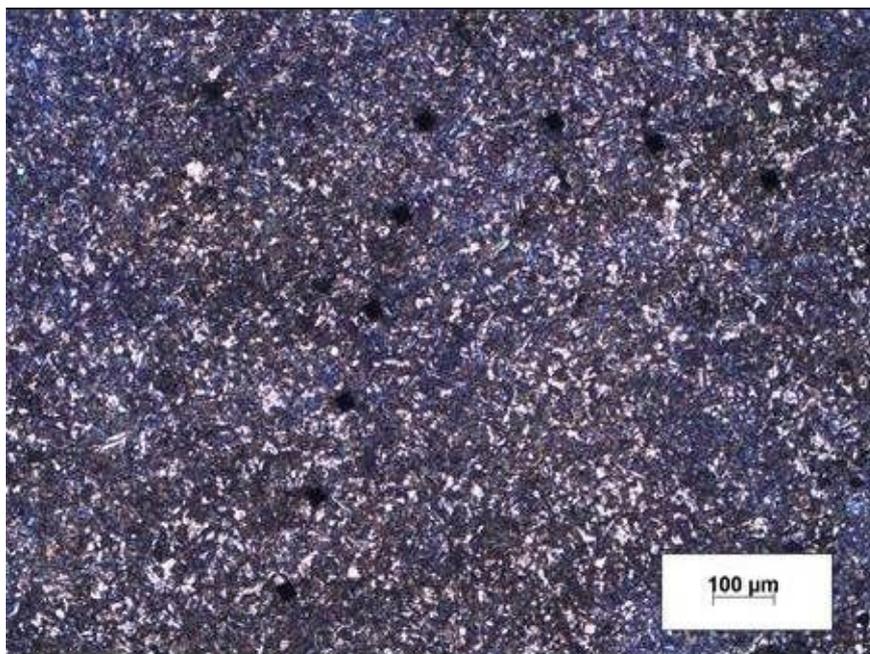


Figura 5: Microestrutura do aço.

Os pontos pretos alinhados presentes nas figuras 2 e 4 referem-se aos ensaios de micro dureza realizados durante o estudo. O termo dureza, tal como é utilizado na indústria, pode ser definida como a capacidade de um material para resistir à permanente endentação ou deformação, quando em contato com um penetrador sob carga. No estudo realizado o endentador era piramidal e a escala de medida é em Vickers.

### 3.Resultados

Foi realizado a análise de um contrapeso pertencente a hélice de um helicóptero, que sofreu acidente sem óbito dos ocupantes. Para a investigação foi utilizado primeiramente análise não destrutiva, com avaliação visual, fotografias da região de fratura e análise estereoscópica. Por fim foi realizado análise destrutiva, seguindo todos os passos da metalografia e análise por microscopia óptica.

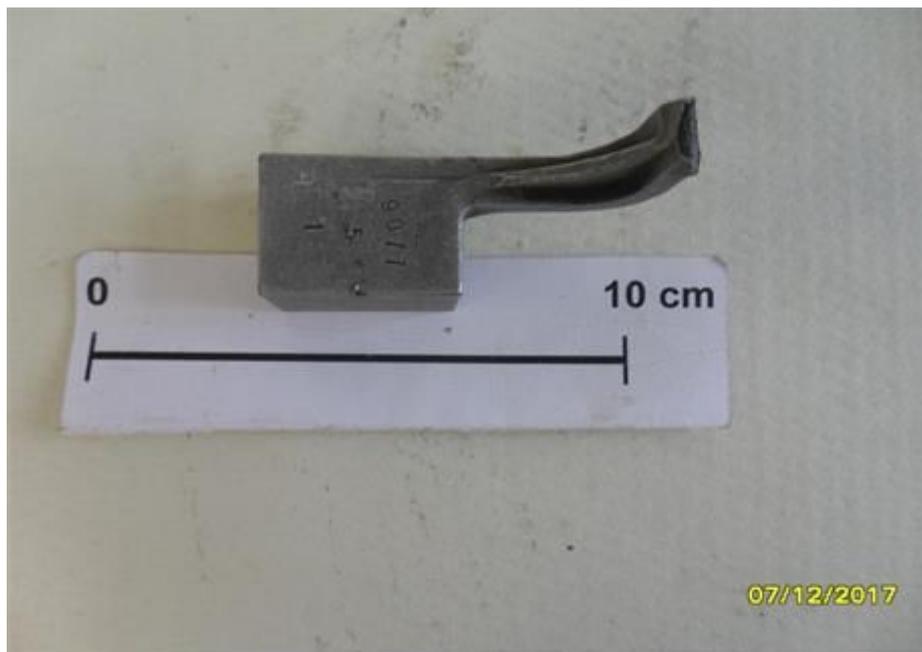


Figura 6: Foto macroscópica do contrapeso.

A figura 5 mostra o material tal como foi recebido, durante os primeiros exames visuais observou-se um material com superfície bem rugosa, e com características de shot peening. Shot peening é um processo de trabalho a frio, em que um componente é bombardeado, em alta velocidade, com material esférico.<sup>[3]</sup> Próximo a região de fratura foi possível visualizar duas trincas secundárias, além disso foi possível observar um amassamento nas bordas

próximo a região de fratura e também uma superfície de fratura com indícios de fadiga e sobrecarga.

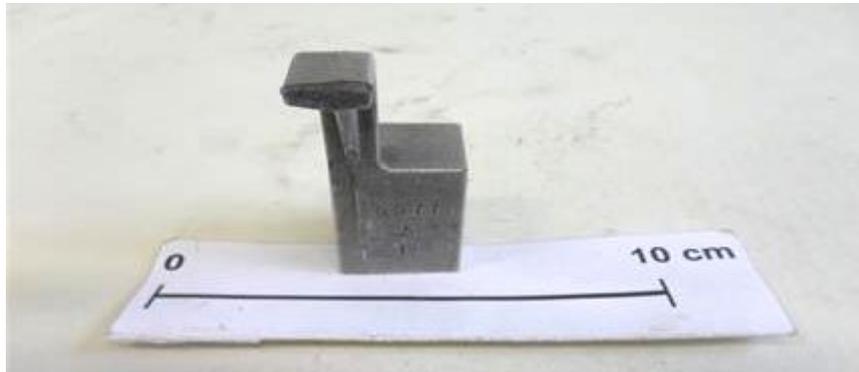


Figura 7: Foto macroscópica da região de fratura.

As Figuras 8 e 9 são imagens realizadas no estereoscópio da região de fratura do material, na figura 8 é possível visualizar as trincas secundárias no contrapeso e uma superfície bem rugosa indicando problemas no shot peening. A Figuras 9 e 10 mostram a superfície de fratura com ampliação na região de início da fadiga e também as chamadas marcas de praia , confirmando que houve fadiga no material.

A falha de um material por sobrecarga, normalmente vem associada a algum mecanismo, no caso foi possível constatar que o mecanismo associado é fadiga.

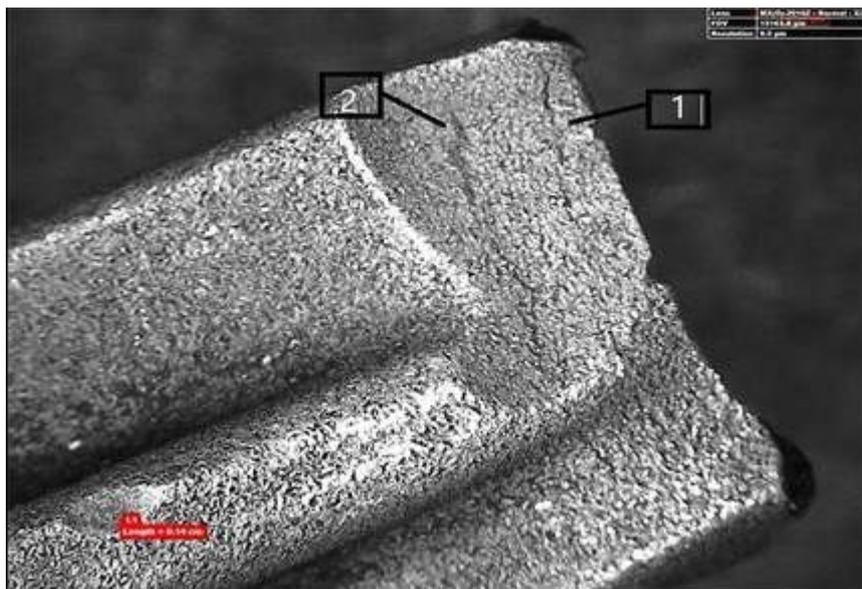


Figura 8: Estereoscopia das trincas secundárias.



Figura 9: Estereoscopia início da fadiga.

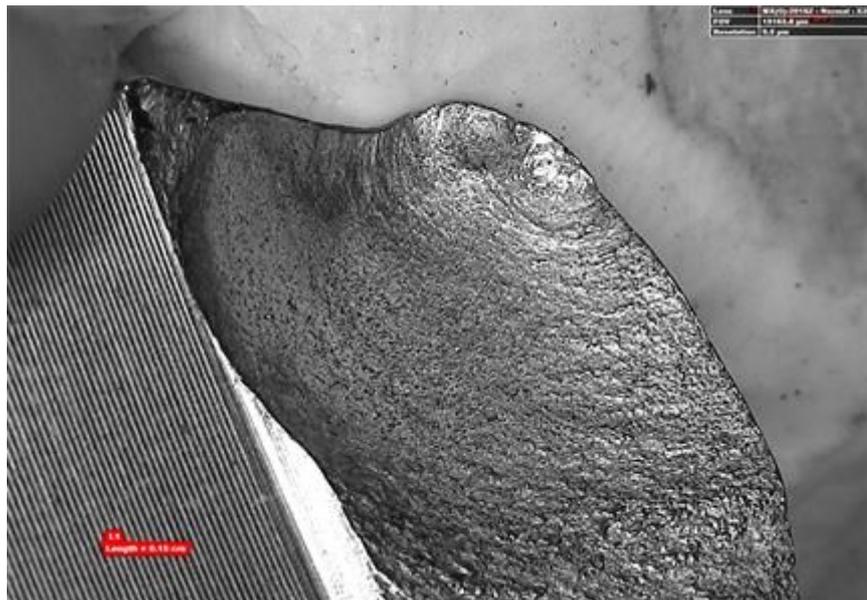


Figura 10: Marcas de praia.

Posteriormente foi realizado a análise destrutiva do material, sendo seccionado em três peças menores de forma a melhorar a visualização e análise da superfície. Em seguida foi realizado em cada seção os procedimentos de metalografia para por fim realizar a análises no microscópio óptico. Na análise foi possível observar a trinca secundária e sua direção de propagação, identificado como 2 na figura 8.



Figura 11: Trinca secundária (200x).



Figura 12: Trinca propagando pelos vazios com ausência de material.

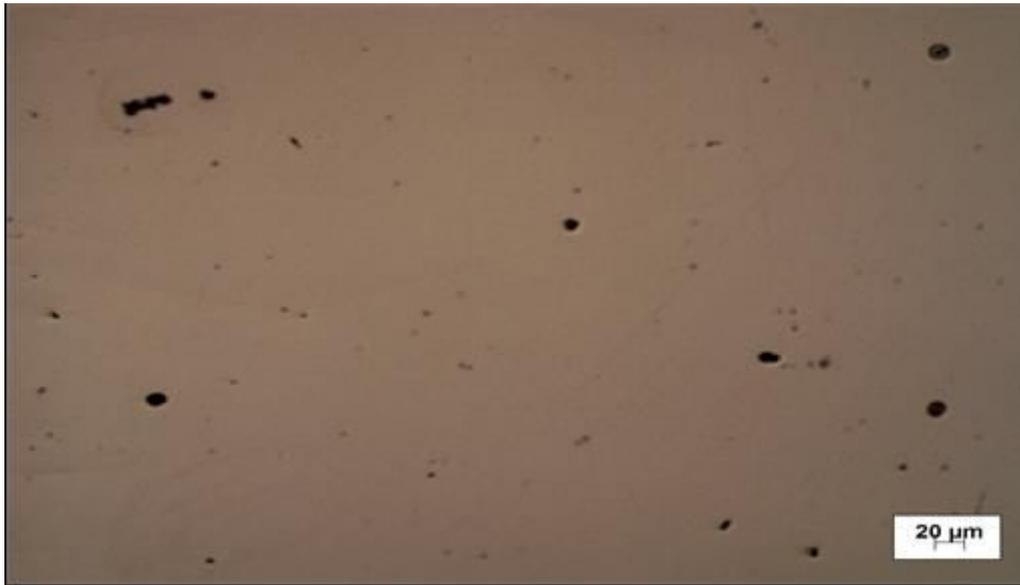


Figura 13: Porosidade do material.

A partir da análise microscópica foi possível constatar que trata-se de um material com muitos defeitos, como muitos pontos com ausência de material como evidenciado na figura 13. Esses poros direcionam a na propagação da trinca, isto é, ela propaga no sentido desses poros ( Figura 12) o que pode resultar em uma rápida fratura do material.

#### 4. Próximas Etapas

As próximas etapas de continuidade do trabalho, seriam realização de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e EDS que não foram possíveis de serem realizados durante esse trabalho devido a manutenções nos equipamentos.

#### 5. Conclusão

A partir dos estudos e treinamentos realizados pode-se desenvolver melhor as técnicas de análise de falhas cumprindo com os objetivos dessa iniciação científica. Ao analisar microscopicamente o primeiro material pode-se observar que o alumínio apresenta grão mais finos e alongados, enquanto que o aço nesse caso tem grãos menores. Devido à presença de grão na forma acicular foi possível identificar a presença de martensita no aço analisado, o que resulta em uma dureza elevada do material. Realizando os testes de micro dureza, pode-se constatar que o aço tem dureza maior do que a liga de alumínio estudado.

Além disso, foi possível identificar a causa da falha do contrapeso devido a sobrecarga do material. A trinca que levou a falha do material iniciou-se por um amassamento e conseqüentemente teve-se o processo de fadiga mecânica devido os esforços cíclicos de tensão a que o contrapeso está submetido, e por fim o material fraturou por sobrecarga resultante das tensões geradas. Por fim o material analisado apresentou diversos problemas em seu material, como shot peening mal realizado apresentando trincas secundárias e também muitos poros que resultam por propagar rapidamente a trinca.

### Referências

- [1] Instituto de Aeronáutica e Espaço. Acessado em: <<http://www.intraiae/amr-subdivisões/amr>>. Acesso em: 30 de Junho de 2018.
- [2] Análise de Falhas I. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2792729/mod\\_resource/content/5/Aula%201.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2792729/mod_resource/content/5/Aula%201.pdf)>. Acesso em: 20 de junho de 2018.
- [3] ASM Handbook. Fatigue and Fracture. Volume 19. ASM international, Materials Park. 1996.  
Failure Analysis and Prevention. William T. Becker and Roch J. Shipley. Volume 11. ASM Handbook Committee.2002.