



INSPEÇÃO NÃO DESTRUTIVA PARA FABRICAÇÃO DE TUBO DESLIZANTE PARA TREM DE POUSO DE AERONAVE¹

José Rubens de Camargo
Francisco José Grandinetti
Roque Antonio de Moura
Emerson Augusto Raymundo
Filipe Wiltgen
João Francisco Bueno

RESUMO

Este artigo tem como objetivo apresentar as principais técnicas de inspeção não destrutivas aplicadas em componentes estruturais de um trem de pouso com intuito de detectar trincas e/ou defeitos que posteriormente implicarão em falhas do trem de pouso. Dentre os tipos de inspeção se dará destaque aos seguintes tipos: Inspeção por Líquido Penetrante, Partícula Magnética e Inspeção de queima de superfície também conhecida como Ataque Nital. A inspeção não destrutiva tem papel de destaque na indústria aeronáutica, pois garante a integridade dos componentes e por conseguinte evita falhas e acidentes. Os defeitos e/ou trincas podem ser gerados tanto na fabricação, quanto no uso do componente, mas neste caso serão apresentados a inspeção pós fabricação. O caso estudado foi o de um tubo deslizante o qual foi inspecionado por duas técnicas não destrutivas para constatar a falha proveniente da produção.

Palavras-chave: Ensaio não destrutivo; Trem de Pouso; Trincas; Aeronave; Aeronáutica

ABSTRACT

This paper presents the non destructive inspections techniques applicable in the landing gear structural components, in order to detect cracks and/or defects that will generate landing gear failures. Among the types of inspection will be highlighted the following types: Penetrating Liquid Inspection, Magnetic Particle and Surface Burning Inspection. Non-destructive inspection plays a prominent role in the aeronautics industry as it ensures component integrity and therefore prevents failures and accidents. Defects and / or cracks can be generated in both manufacturing and component use, but in this case post-fabrication inspection will be presented. The case studied was a sliding tube which was inspected by two different non-destructive techniques to detect the production failure.

Keywords: Non-destructive inspection; Landing gear; Cracks; Aircraft; Aeronautics.

¹ Artigo publicado nos Anais do EIC 2019 Bioeconomia Diversidade e Riqueza para o Desenvolvimento Sustentável.

1. INTRODUÇÃO

Os componentes estruturais de uma aeronave têm requisitos rígidos com intuito de gerar segurança e aeronavegabilidade de aviões, helicópteros, etc... No caso de trens de pouso, por ser uma estrutura *safe-life* (FAA, 2019), estrutura que é projetada para uma quantidade de ciclos em que não pode apresentar trinca onde a inspeção não destrutiva ocupa uma posição importante para impedir que peças com possíveis problemas sejam utilizadas. Portanto, a inspeção não destrutiva é muito importante para detectar possíveis trincas após produção, durante campanha de certificação e durante *overhaul* dos trens de pouso. A Figura 1 mostra um *shipset* completo do trem de pouso 747-8.

Figura 1 | Trens de pouso 747-8



Fonte: ANDREA (2016)

1.1 OBJETIVO

Apresentar as técnicas mais utilizadas como inspeção não destrutiva: líquido penetrante, partícula magnética e ainda a técnica de ataque Nital para detecção de queima ocasionada por usinagem ou retífica, esta provoca diminuição das propriedades mecânicas do material. Ainda serão mostrados alguns componentes estruturais e uma inspeção aplicada em um tubo deslizante.

2. METODOLOGIA

2.1 Líquido Penetrante (LP)

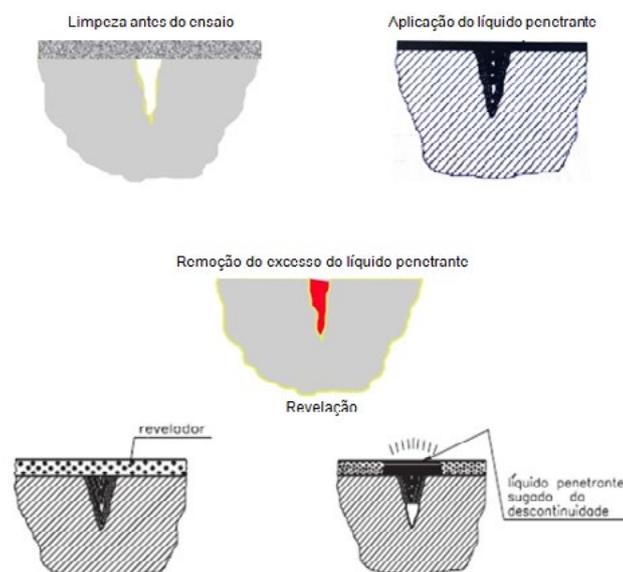
O ensaio não destrutivo mais velho após a inspeção visual é o líquido penetrante, Figura 2. A utilização deste método começou nas oficinas de manutenção de estradas de ferro (ANDREUCCI, 2013) como até então não se conheciam as discontinuidades dos componentes ocorriam falhas por fadiga quando estes eram colocadas em uso, pois ficavam sujeitos a todo tipo de esforços cíclicos.

Naquela época foi desenvolvido o método do óleo e giz o qual foi utilizado por algum tempo (RODRIGUES, 2019). A partir do estudo deste método foi então criado o método de líquido penetrante e então se começou a usar este método para a detecção de trincas e discontinuidades em componentes metálicos não ferrosos como, por exemplo, alumínio, titânio, alguns tipos de aço inox, etc... Estes tipos de metais não podem ser inspecionados por partícula magnética pelas características deles, pois não são magnetizáveis.

O método de inspeção por líquido penetrante é muito versátil, pois inspeciona materiais não ferrosos, ferrosos, cerâmicos, plásticos, etc... e é utilizada para detecção de trincas e/ou discontinuidades superficiais que não podem ser detectadas na inspeção visual (RODRIGUES, 2019).

Divide-se em algumas etapas: (a) limpeza da peça, (b) aplicação do líquido penetrante, (c) remoção do excesso de líquido penetrante, (d) revelação, (e) inspeção e (f) limpeza final.

Figura 2 | Etapas do processo de inspeção de líquidos penetrantes (LPRevelação)



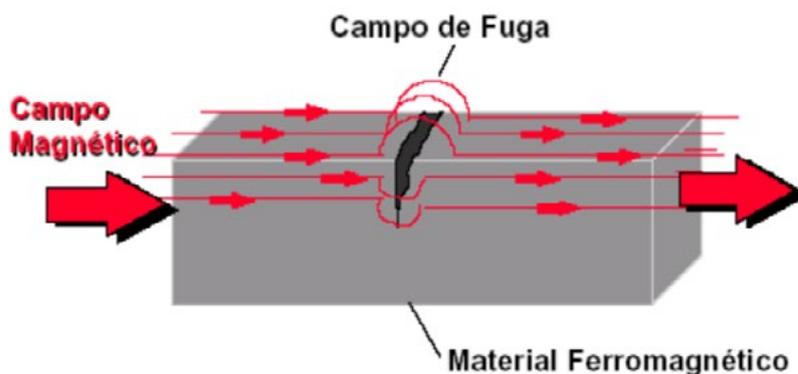
Fonte: ANDREUCCI (2003)

Assim que finalizada a inspeção é emitido um relatório de inspeção e então o componente inspecionado deverá ser limpo e removido qualquer resquício de produtos que possam prejudicar uma próxima etapa do processo de fabricação ou uso.

2.2 PARTÍCULA MAGNÉTICA (PM)

Este método é baseado em colocar o componente ou parte dele sujeito a campo magnético. Onde existem descontinuidades haverá campo de fuga, como mostrado na Figura 3, que será identificado com a utilização de partículas ferro magnéticas que irão se aglomerar na região da descontinuidade (FERRARESI, 2019). Este método é capaz de identificar descontinuidades e trincas em metais ferromagnéticos, ou seja, materiais não magnetizáveis não são inspecionáveis por este método. Outra característica deste método é a capacidade de detectar descontinuidades superficiais e subsuperficiais.

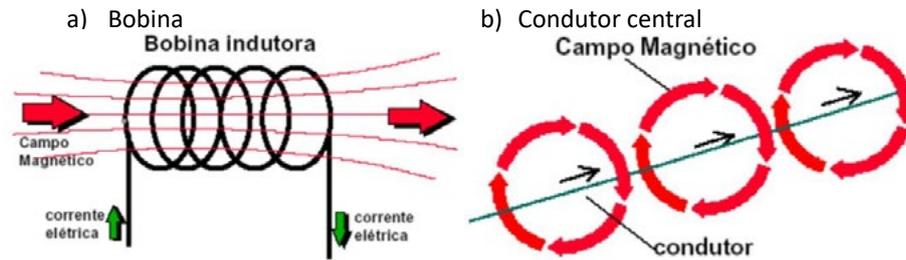
Figura 3 | Campo de fuga



Fonte: FERRARESI (2019)

Existem vários métodos de magnetização dentre os quais, magnetização longitudinal, circular, multidirecional. No primeiro método aplica-se uma corrente circular na bobina e gera um campo magnético longitudinal que será capaz de detectar descontinuidades transversais, Figura 4a. No segundo método aplica-se uma corrente no condutor central e gera um campo magnético circular que será capaz de detectar descontinuidades longitudinais, Figura 4b (FERRARESI, 2019).

Figura 4 | Tipos de Magnetização



Fonte: FERRARESI (2019)

Na magnetização mutidirecional são aplicados campos circular e longitudinal de tal maneira que é possível detectar discontinuidades em várias direções.

Como preparação das peças é necessário que estas sejam completamente limpas sem resquícios de graxa, óleo e/ou outros contaminantes que façam com que haja aglomeração de partículas em regiões que não possuem discontinuidades.

Como técnicas de magnetização pode-se destacar as por passagem de corrente e por indução de corrente de campos magnéticos. Na primeira técnica a corrente elétrica passa pelo componente a ser inspecionado, na segunda ocorre a indução do campo magnético na peça.

Ao fim do processo de inspeção a peça deve ser desmagnetizada para que não cause problemas no processo produtivo, interferências em instrumentos aeronáuticos, dentre outros.

2.3 INSPEÇÃO DE QUEIMA DE SUPERFÍCIE DE AÇOS ATRAVÉS DO ATAQUE NITAL

O método de inspeção por ataque Nital é um processo químico que atua na superfície das peças (ácido nítrico e ácido clorídrico) e é utilizado para verificar a superfície de metais com o intuito de checar se houve queima ou superaquecimento durante a usinagem ou retífica de um componente. Isto é importante devido ao fato de que se houver superaquecimento ou queima as propriedades mecânicas do material serão alteradas. Através do ataque Nital é possível ver a olhos nus quais regiões sofreram com a queima ou superaquecimento.

No ataque Nital o ácido nítrico entra em contato com o aço oxidando sua superfície, e em seguida se utiliza o ácido clorídrico que retira o excesso de oxidação. Após a utilização dos ácidos nas peças é aplicado o hidróxido de sódio para neutralizar a ação destes ácidos. Ao fim do processo o ataque Nital fará com que a parte com queima ou superaquecimento de superfície fique uma cor diferente. A Figura 5 mostra o esquemático de como é feita a inspeção por ataque Nital.

Figura 5 | Esquema Inspeção por ataque Nital



Fonte: Próprio autor (2019)

2.4 FUNÇÃO DO TREM DE POUSO

O trem de pouso tem como funções principais de absorver impactos ao pousar, permitir a movimentação, taxiamento e manobras em solo, prover frenagem, amortecer as vibrações em solo. A Figura 6 mostra um típico trem de pouso utilizado na aviação comercial A340-642.

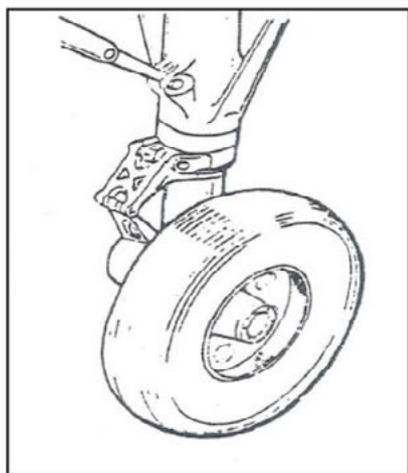
Figura 6 | Trem de pouso A340-642



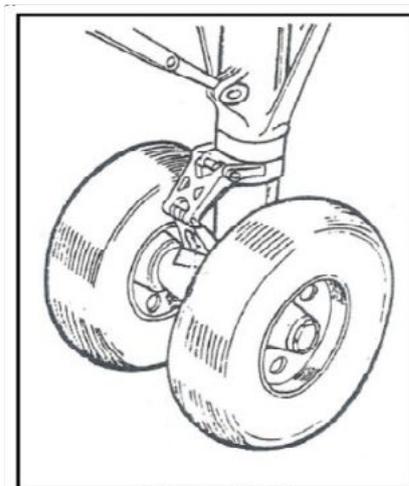
Fonte: AIRLINERS (2014)

Os trens de pouso podem ser classificados quanto o tipo de disposição das rodas (BAI, 2014), dentre os principais tipos de trem de pouso da aviação comercial pode-se destacar os que são apresentados na Figura 7.

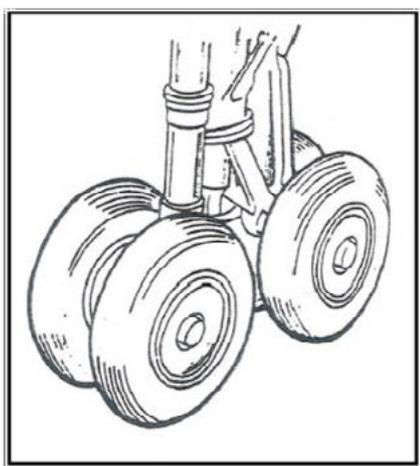
Figura 7 | Principais tipos de trem de pouso



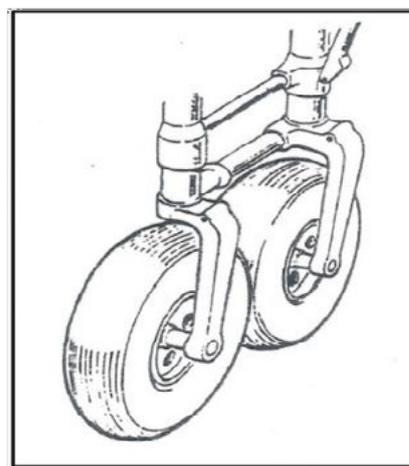
Tipo único



Tipo duplo



Tipo bogie

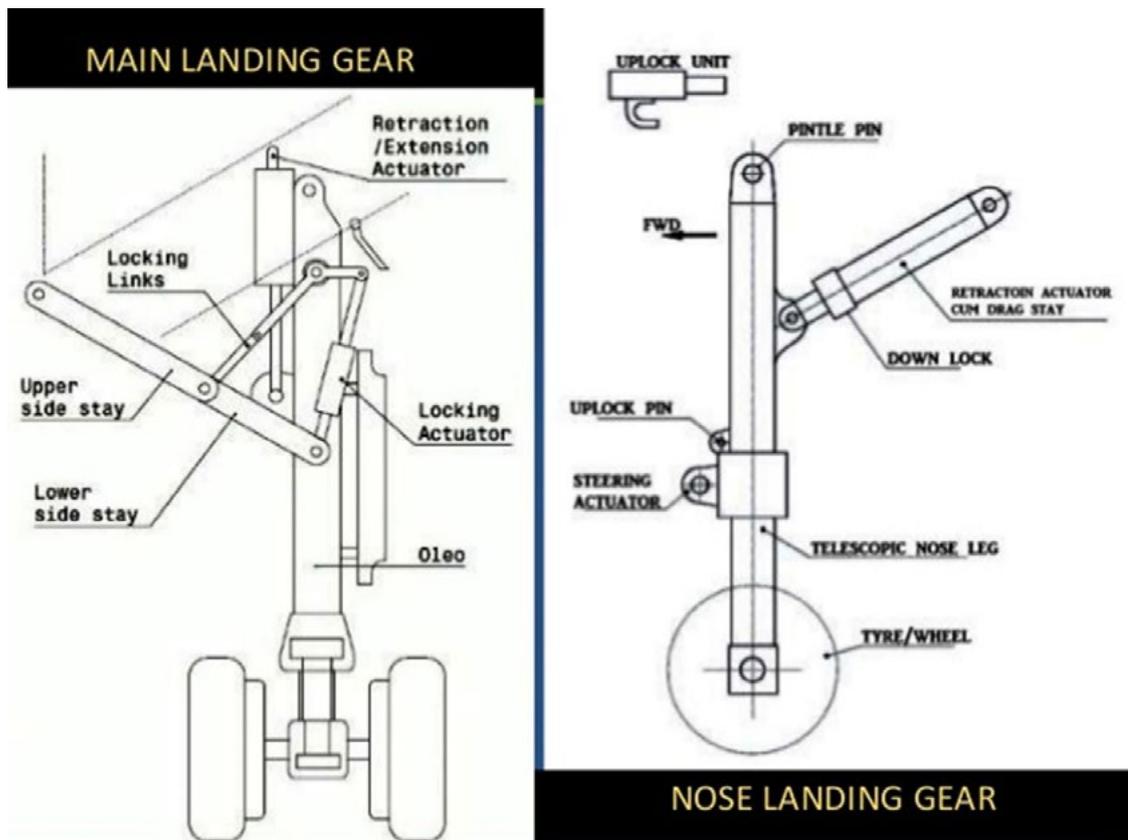


Tipo tandem

Fonte: BAI (2014)

Os trens de pouso ainda se subdividem em duas categorias, os trens de pouso auxiliares (NLG) e o principal (MLG) (PANI, 2015). O MLG é o primeiro a ter contato com o solo quando o avião está pousando e o auxiliar além de receber carga de pouso é responsável também pelo sistema de direção da aeronave, conhecido como *steering system*. O Figura 8 apresenta o MLG e NLG com seus principais componentes. A nomenclatura de alguns componentes varia de acordo com a companhia como, por exemplo, perna telescópica do trem auxiliar, *telescopic nose leg*, é também conhecido como tubo deslizante ou *sliding tube*.

Figura 8 | Esquema com principais componentes de um trem de pouso



Fonte: PANI (2015)

2.5 REQUISITO

O requisito 25.571 do órgão controlador *Federal Aviation Administration* mais conhecido como FAA, trata da fadiga de uma aeronave. Nele é exposto que ao projetar, fabricar, e verificar a fadiga, corrosão ou danos acidentais em componentes durante a vida inteira do avião não podem leva-lo a falhas catastróficas, inclui-se nos componentes o trem de pouso. Neste requisito é exposto que a fabricante do avião deverá identificar as principais peças estruturais que podem eventualmente provocar uma falha catastrófica. No caso do trem de pouso, após a identificação dos componentes que podem provocar falhas catastróficas, é feita uma lista de itens com vida controlada.

Como o trem de pouso é uma estrutura *safe-life* (FAA, 2019), ele tem que ter sua vida limitada ao que foi projetada e após as quantidades de ciclos deve ser descartada. É também reportado que

durante a vida inteira do avião os componentes do trem de pouso não poderão apresentar trincas, então, normalmente quando a aeronave passa por *overhaul* (revisão programada) ou alguns tipos de manutenção estes itens críticos passam por inspeção não destrutiva para que seja verificada se após utilização houve algum aparecimento de trinca.

O mesmo é feito durante ensaios de certificação, o trem de pouso é ciclado por n vezes a quantidade de ciclos de vida real. Este fator que multiplica a quantidade de ciclos é conhecido como scatter factor e é acordado entre fabricantes e autoridades aeronáuticas levando-se em conta quantidade de corpos de prova. Após a definição do *scatter factor* a cada fim de ciclagem é feita inspeção não destrutiva e é obrigatório que não haja falha.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o processo produtivo, com o intuito de verificar um componente chamado tubo deslizante, este foi inspecionado primeiramente por meio da técnica de líquido penetrante fluorescente e foi constatada a seguinte não conformidade:

Inspeção de líquido penetrante apresenta indicações de espiral na camada de cromo com características de retífica abusiva conforme apresentado na Figura 9.

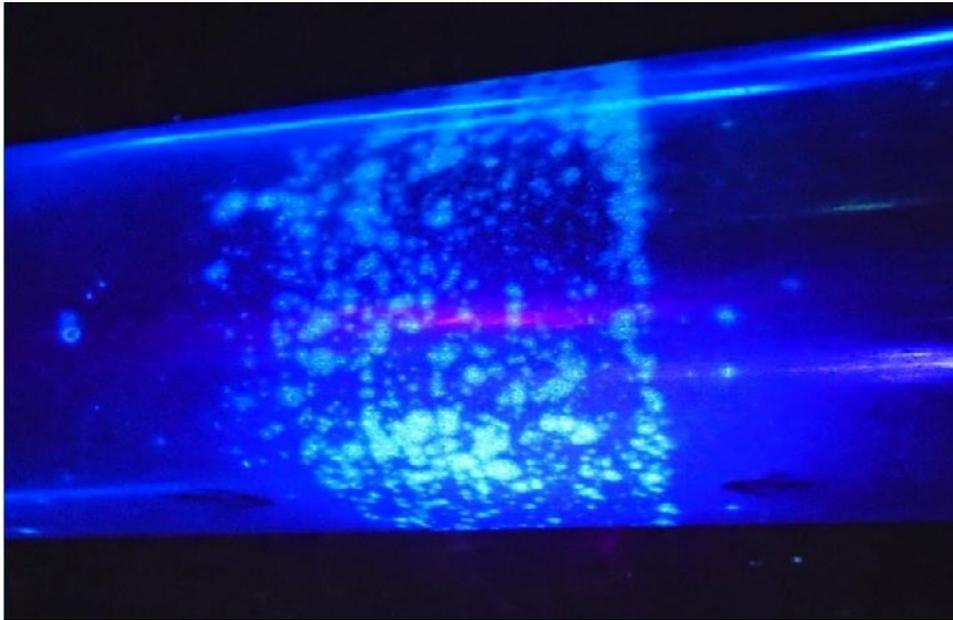
Para a inspeção por líquido penetrante fluorescente foram utilizados os seguintes produtos:

Líquido penetrante fluorescente: ZYGLO ZL-27A Emulsificador: ZYGLO ZR-10B

Revelador: ZYGLO ZP-14A Luz negra.

Uma vez que após a inspeção por líquido penetrante fluorescente detectou uma possível queima do metal base por retífica foi feita a remoção da camada de cromo do tubo deslizante e em seguida inspecionou-se o componente com o ataque Nital conforme apresentado na Figura 10.

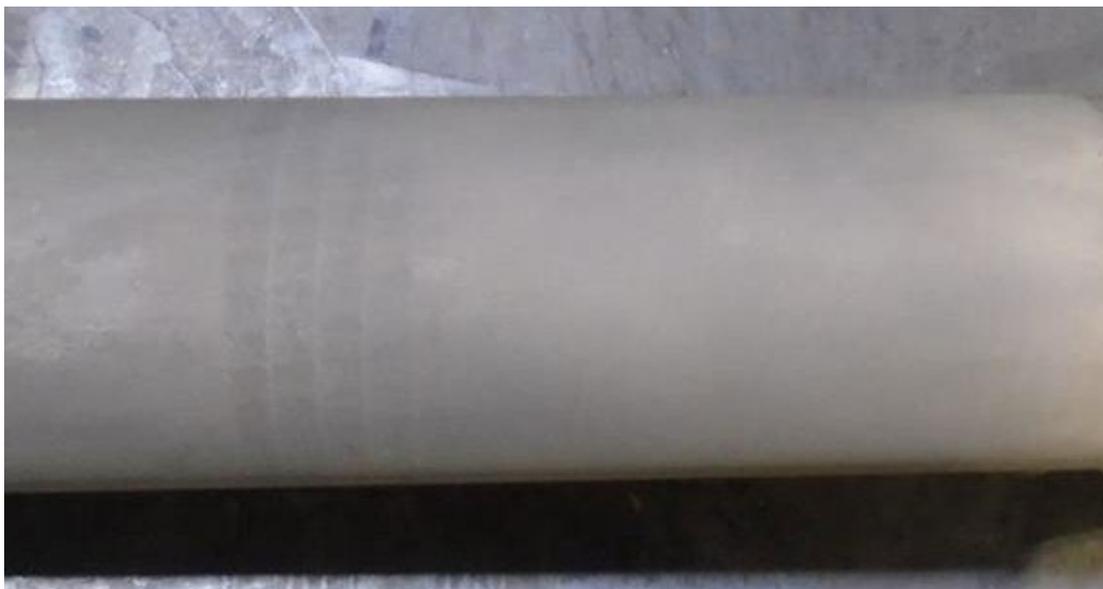
Figura 9 | Resultado da inspeção por líquido penetrante fluorescente em tubo deslizante



Fonte: Próprio autor (2019)

A inspeção por líquido penetrante fluorescente detectou uma possível queima circunferencial feita no metal base por retífica. Observa-se um aglomerado de pontos brilhantes.

Figura 10 | Resultado da inspeção por ataque Nital em tubo deslizante



Fonte: Próprio autor (2019)

Após a inspeção anterior, foi realmente constatada a queima no tubo deslizante apresentado na região demarcada da Figura 10. Com o resultado desta inspeção, a engenharia de produto foi acionada para dar disposição quanto ao que fazer com o componente. Alguns componentes quando detectada a queima são descartados e outros são retrabalhados. Neste caso, a peça precisou ser descartada, pois não havia margem de segurança tendo em vista que era necessário remover muito material na região com queima.

4 . CONCLUSÕES

É importante salientar que as inspeções são complementares para as inspeções de itens de trem de pouso onde a inspeção por líquido penetrante detectou uma possível falha e o ataque Nital comprovou a suspeita. Portanto, esse caráter complementar fornece subsídios para o inspetor e para o engenheiro responsável tomar a devida decisão referente ao componente com falha produtiva e neste caso o descarte. O principal objetivo é garantir a confiabilidade dos componentes do trem de pouso, por ser um item de segurança, evitando graves acidentes durante a decolagem e pouso das aeronaves.

REFERÊNCIAS

- ANDREA J., Boeing 747-8 landing gear delivered; size dwarfs truck (photo) <<https://www.airliners.net/forum/viewtopic.php?t=761595>>, 24 julho 2016, acessado em 31 julho 2019.
- ANDREUCCI R., Líquidos Penetrantes <<http://www.mundomecanico.com.br/wp-content/uploads/2012/04/Inspe%C3%A7%C3%A3o-por-liquido-penetrante.pdf>>, Julho 2013, disponível em 01 agosto 2019.
- Airbus A340-642 <<https://www.airliners.net/photo/Airbus/Airbus-A340-642/1086962>> disponível em 02 agosto 2019.
- BAI H., Landing Gear for Aircraft <https://pt.slideshare.net/partyrocka99/landing-gear-for-aircraft?from_action=save>, LinkedIn slideshare, 24 de mai de 2014, disponível em 04 agosto 2019.
- FAA, Far Part 25.571 <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?node=14:1.0.1.3.11#se14.1.25_1571> disponível em 02 agosto 2019.
- FERRARESI, V., Partícula Magnética <<ftp://mecanica.ufu.br/LIVRE/Valtair%20-%20END/PART%20CDCULA%20MAGN%20TICA.pdf>> disponível em 02 agosto 2019.
- RODRIGUES L., Líquido Penetrante <<http://www.engbrasil.eng.br/pp/em/aula14.pdf>> disponível em 01 agosto 2019.
- PANI S.S. et al, Landing Gear, 28 março 2015 <<https://www.slideshare.net/srinivasphanikumar2/landing-gear-46386875/7>> disponível em 02 agosto 2019.