

ATUAÇÃO DO ELEMENTO FUSÍVEL MECÂNICO DA BARRA DE *PUSH BACK* NOS REBOCADORES DE AERONAVES

Maycon Alef Araujo Pinheiro¹

Luciano Galdino²

RESUMO

Este artigo apresenta a importância da atuação do elemento fusível mecânico, também chamado de pino de cisalhamento, no procedimento de movimentação de aeronaves através de rebocadores e como ele deve ser dimensionado tomando como base o esforço mecânico de cisalhamento. É abordada também uma breve descrição do trem de pouso de nariz, da barra de *push back* e dos rebocadores, pois são os equipamentos utilizados para a execução efetiva do procedimento. Além disso, são apresentados os procedimentos básicos que o operador deve seguir para locomoção das aeronaves com os rebocadores.

Palavras Chaves: Fusível. Cisalhamento. Rebocadores. Aeronaves.

ABSTRACT

This article presents the importance of the performance of mechanical fuse element, also called shear pin in aircraft movement procedure by tugs and how it should be scaled on the basis of the mechanical shear effort. It is highlighted also a brief description of the nose landing gear, the pushback bar and tugs, as are the equipment used for the effective execution of the procedure. In addition, basic procedures are presented to the operator should follow for getting the aircraft to the tugs.

Keywords: Fuse. Shear. Tugs. Aircraft.

¹ Técnico de controle de manutenção de Aeronaves TAM LINHAS AEREAS. Graduado em Tecnologia em Mecatrônica Industrial e graduando em Engenharia Mecatrônica pela Faculdade ENIAC. E-mail: mayconalef@hotmail.com.

² Professor de Física, Elementos de Máquina, Resistência dos Materiais e Vibrações Mecânicas na Faculdade ENIAC. Mestre em Ciências Exatas e da Terra na área de Física Nuclear pela USP, especializado em Física pela USP e Licenciado em Matemática pela UNG. E-mail: lucianogaldino1@yahoo.com.br.

1. INTRODUÇÃO

O elemento fusível mecânico está posicionado em uma barra que tem a função de engatar o rebocador ao trem de pouso da aeronave, denominada barra de *push back*, para assim movimentar a aeronave (taxiamento) com precisão e eficiência. Esse procedimento é frequentemente executado nos aeroportos do Brasil e do mundo.

O objetivo desse artigo é de apontar a importância deste simples pino que serve como sistema de segurança quando ocorre uma sobrecarga no transporte da aeronave pelo rebocador ou por algum outro fator que possa ser considerável, pois o mesmo se rompe na ocorrência de uma força maior que a máxima prevista, evitando que outros componentes sejam danificados, principalmente o trem de pouso, fato esse que gera atrasos e prejuízos.

É destacado como o elemento fusível mecânico deve ser dimensionado, descrevendo o cisalhamento como o esforço mecânico aplicado a ele, os tipos de materiais utilizados na sua fabricação e os componentes que estão envolvidos na locomoção da aeronave (o trem de pouso, o rebocador e a barra de *push back*).

Além disso, o artigo aborda a atuação essencial do operador do rebocador e da necessidade de uma manutenção preventiva eficiente para assegurar uma operação segura e sem transtornos.

2. TREM DE POUSO DE NARIZ (*NOSE GEAR*)

O trem de pouso de nariz ou *nose landing gear* (Figura 1) não é só efetivo e necessário na aterrissagem da aeronave, mas também tem por objetivo direcionar a aeronave durante o taxiamento no solo até o box de parada sendo, portanto, um componente fundamental para o deslocamento da aeronave e por este motivo necessita de manutenção preventiva e preditiva para melhor conservação do equipamento. É um atuador que se acopla numa barra (denominada de barra *push back*) e que por sua vez é ligada ao rebocador para que se possa realizar a movimentação da aeronave.



Figura 1: Trem de pouso de nariz (*nose landing gear*)
Fonte: Liebherr (2016).

O trem de pouso, ou trem de aterragem, é o principal integrante do sistema de pouso de um avião. Suas funções principais são apoiar o avião no solo e manobrá-lo durante os processos de taxiamento, decolagem e pouso. O trem de pouso pode ser classificado basicamente em duas categorias: trem de pouso convencional ou triciclo, de acordo com a posição das rodas. (BUGLIA, 2010).

Conforme Homa (2007) no conjunto mecânico do trem de pouso de nariz é utilizado um amortecedor hidropneumático que consiste em suas partes principais óleo, ar, e compressão sem mola. O orifício restringe a passagem do fluido e assim se cria uma pressão enorme sobre o conjunto mecânico, é o momento que o trem de pouso executa o toque com a pista de pouso até que o amortecedor hidropneumático atinja o seu fim do curso (Figura 2). Como o orifício já é dimensionado para restringir ao máximo o fluxo do fluido e dessa maneira suavizar o retorno, este sistema evita um possível salto da aeronave e desconforto dos passageiros e tripulação.

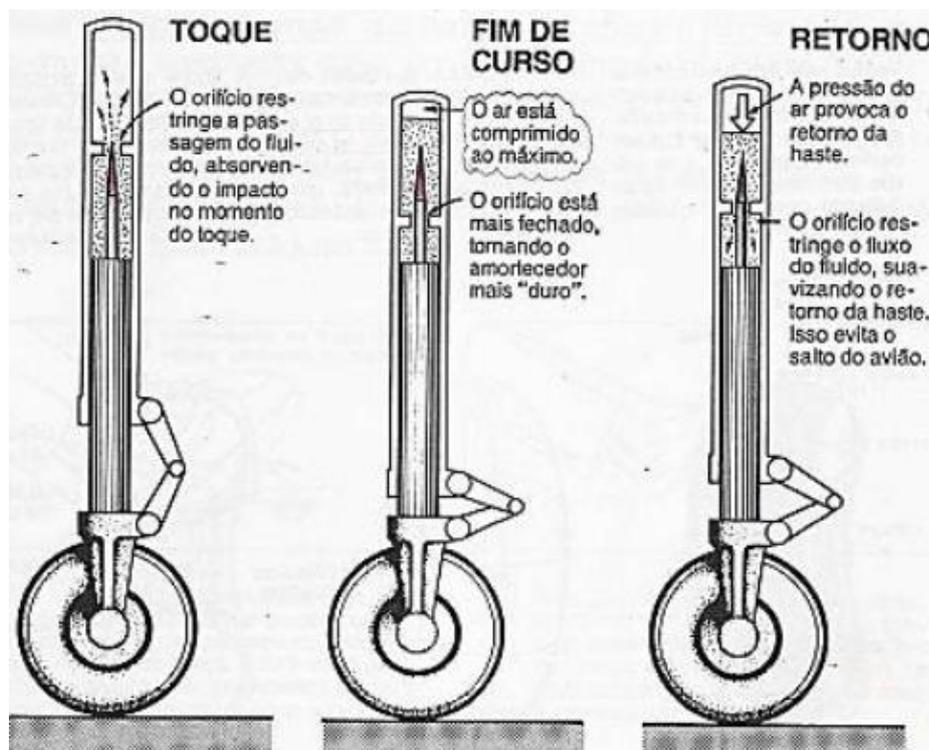


Figura 2: Atuação do sistema hidropneumático do trem de pouso.

Fonte: Homa (2007, p. 17).

O sistema de retratação e extensão do trem de pouso permite uma sequência adequada de operação. Esse sistema atua hidráulicamente e os seus principais componentes são: válvulas de sequências e seletoras, cilindros de atuação e travas superiores e inferiores (HOMA, 2007).

3. REBOCADORES

São equipamentos que permitem precisão para o posicionamento de aeronaves em hangares ou até mesmo nos aeroportos. O sistema que permite precisão no deslocamento de aeronaves, conhecido como *All Wheel Drive*, apresenta recursos especiais na direção da roda para mover com segurança aeronaves de grande porte independentemente das condições meteorológicas (AEROSPECIALTIES, 2015).

É um equipamento que comporta um acoplamento mecânico ligando uma barra denominada de *push back* até o trem de pouso de nariz (Figura 3).



Figura 3: ReboCADOR Rucker TA-420 acoplado ao trem de pouso de nariz através da barra de push back (barra amarela). Fonte: Catálogo Rucker

No momento do procedimento se tem um mecânico de aeronaves que acompanha desde o início até o término da ação. O operador do reboCADOR deve seguir uma instrução técnica de trabalho (Quadro1) para garantir a segurança e qualidade do procedimento. O mecânico poderá acompanhar a operação dentro do veículo reboCADOR. Em nenhum momento se pode perder o foco na segurança durante o procedimento com o reboCADOR.

Etapas	Procedimentos
1	Acoplar a barra de reboque (<i>tow bar</i>) no local determinado com o devido pino de trava (caso essa atividade seja realizada pelo pessoal de rampa o mecânico deve conferir se a acoplagem foi feita corretamente).
2	Verificar se não há nenhum pino de cisalhamento deformado, pois caso isto ocorra será necessário retirá-lo e efetuar a troca do mesmo.
3	Acompanhar a velocidade para não ultrapassar o valor máximo para a operação de acordo com os manuais da aeronave e do veículo reboCADOR.

Quadro 1: Instruções técnicas para movimentação de uma aeronave com reboCADOR.
Fonte: TAM Linhas Aéreas (2014).

É efetivamente necessária a utilização de todos os equipamentos de maneira prudente e segura a fim de evitar falhas e manutenção corretiva que possam comprometer a organização e pontualidade. A tabela 1 apresenta as medidas e capacidades de um rebocador Rucker.

Tabela 1 - Rebocador Rucker TA-420

Dados Técnicos	
Comprimento sem engate	4,980 mm
Comprimento com engate	5,450 mm
Largura	2,500 mm
Altura máx. de cabine com sinalizador rotativo	2,135 mm
Altura cabine	2,010 mm
Entre eixos	2,060 mm
Vão livre inferior	200 mm
Raio de giro externo	6,060 mm
Altura do engate	Conforme ABNT
Massa própria	14,000 kg
Carga no eixo dianteiro	4,530 kg
Carga no eixo traseiro	9,430 kg
Vel. máx. com carga	6 km/h
Vel. máx. sem carga	35 km/h
Força de tração	7500 kgf

Fonte: Catálogo Rucker.

4. BARRA DE *PUSH BACK* PARA MOVIMENTAÇÃO DE AERONAVES

A barra de *push back* é um equipamento utilizado nos rebocadores que realizam a manobra de taxiamento das aeronaves do hangar até a pista de decolagem, atuando na união da aeronave ao rebocador (conforme já demonstrado figura 3), este equipamento é indispensável para esta atividade diária e rotineira nos aeroportos de todo o mundo.

Quando se projeta sistemas desse segmento existem preocupações naturais da mecânica tais como fadiga e desgaste prematuro. Os materiais que irão compor as peças são selecionados conforme tipos de esforços que irão suportar e o conjunto mecânico é dimensionado para suportar determinada carga, sendo que acima do limite estabelecido podem ocorrer deformações permanentes que ocasionam manutenções e sucateamento (HERMINE, 2008).

A barra de *push back* é engatada mecanicamente ao trem de pouso através de uma peça denominada pino de acoplamento, a qual está destacada na (Figura 4). Vale lembrar que esse pino não é o fusível mecânico, ele serve apenas para acoplamento da barra de *push back* ao

trem de pouso, qualquer sobrecarga acarretará na quebra do elemento fusível mecânico e não do pino de acoplamento.



Figura 4 – Pino de acoplamento do trem de pouso para engatar a barra de *push back*.

5. ELEMENTO FUSÍVEL MECÂNICO

Na barra de *push back* encontra-se o elemento fusível mecânico (destacado pela seta na Figura 5), também conhecido como pino de cisalhamento ou pino de segurança. Em caso de sobrecarga no transporte da aeronave esse pino se rompe evitando que outras peças de maior valor e importância se danifiquem, principalmente os componentes do trem de pouso. A função do fusível mecânico lembra a do fusível elétrico que protege os equipamentos e circuitos de sobrecarga elétrica.



Figura 5 – Posicionamento do elemento fusível mecânico na barra de *push back*.

Os materiais do pino de cisalhamento variam conforme o modelo da aeronave, por exemplo, nos modelos A319/A320 utiliza-se alumínio DIN 3.3549 (EM-AW 5182) e aço GG50, já nos modelos A330/A767/A777 utiliza-se o aço maciço (catálogo TAM, 2015).

Os elementos fusíveis mecânicos podem assumir diversas geometrias e dimensões de forma a atender as necessidades de cada projeto e em diferentes segmentos para que suporte o esforço submetido durante a movimentação da aeronave. No caso do procedimento de *push back* em aeronaves Airbus A320 os elementos fusíveis mecânicos possuem forma de pinos e com geometria conforme (Figura 6).

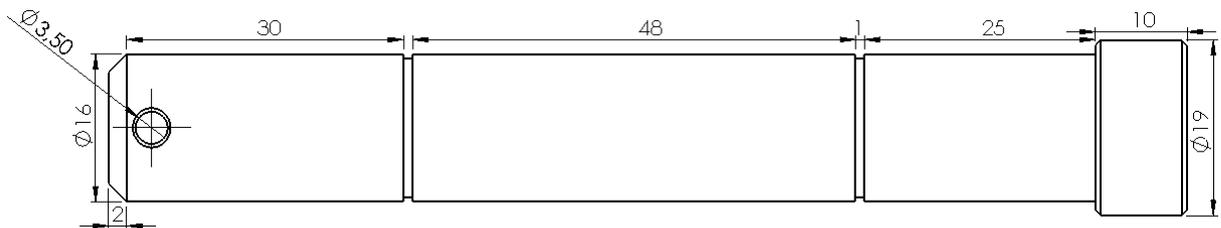


Figura 6 – Elemento fusível mecânico (pino de cisalhamento) em alumínio DIN 3.3549 para atuar na aeronave AIRBUS A320 (As dimensões variam para cada tipo de aeronave).

Segundo Pauli e Uliana (1996) um pino de segurança é aplicado para ser o primeiro elemento a romper-se quando submetido à sobrecarga protegendo componentes de maior importância.

6. DIMENSIONAMENTO DO ELEMENTO FUSÍVEL MECÂNICO

Quando se deseja dimensionar um elemento mecânico é necessário analisar quais os esforços mecânicos que o elemento será submetido. Os esforços mecânicos principais são: tração, compressão, torção, cisalhamento, flexão e flambagem. Seja lá qual for o esforço, a grandeza principal utilizada como referência é a tensão, que pode ser normal ou de cisalhamento.

A tensão normal é quando uma força atua perpendicularmente à área da secção transversal do elemento e é definida pela equação 1 (HIBBELER, 2004).

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1)$$

Assim, a tensão normal é aplicada nos dimensionamentos relacionados aos esforços de tração, compressão e flambagem.

Já a tensão de cisalhamento é caracterizada quando uma força atua tangentemente à área da secção transversal do elemento e é dada pela equação 2 (HIBBELER, 2004).

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (2)$$

Assim, a tensão de cisalhamento é aplicada nos dimensionamentos relacionados aos esforços de cisalhamento, torção e flexão.

Pauli e Uliana (1996) destacam que o cisalhamento é o principal esforço que um pino fica submetido. Isso significa que o elemento fusível mecânico será cisalhado antes que qualquer outra peça venha a se danificar.

O esforço de cisalhamento ocorre quando uma peça fica submetida a uma força cortante no sentido de sua área da secção transversal, conforme (Figura 7) (MELCONIAN, 2005).

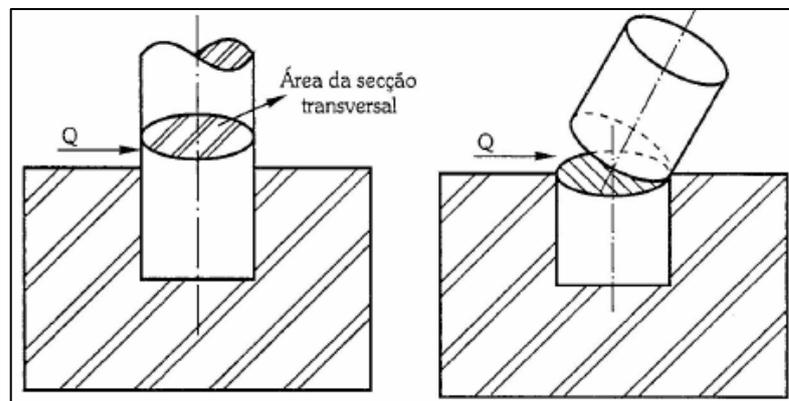


Figura 7- Representação do elemento em construção sofrendo esforço de cisalhamento devido atuação da força cortante Q. Fonte: MELCONIAN, 2005, p. 135.

Já Hibbeler (2004) define o cisalhamento como o resultado da distribuição de uma tensão de cisalhamento transversal que atua sobre a área da secção transversal do elemento cisalhante. Ele pode ser simples (quando se tem uma junta sobreposta e o elemento cisalhante está sujeito a força cortante agindo em uma área da secção transversal, conforme (Figura 8a), ou duplo (quando se tem duas juntas sobrepostas e o elemento cisalhante fica sujeito a força cortante atuando em duas áreas da secção transversal no mesmo elemento, conforme (Figura 8b).

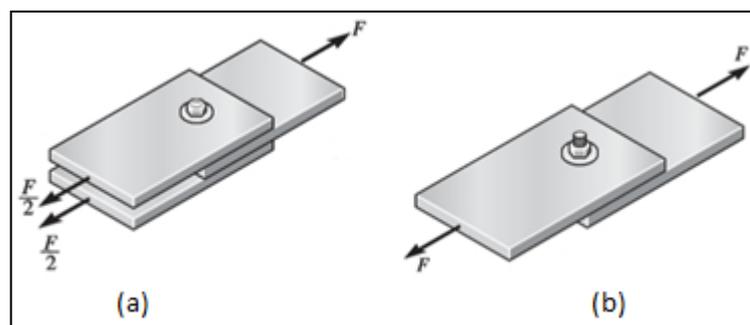


Figura 8- (a) cisalhamento simples (b) cisalhamento duplo. Fonte: Hibbeler, 2004.

“A ação da carga cortante sobre a área da secção transversal da peça causa nesta uma tensão de cisalhamento (τ), que é definida através da relação entre a intensidade da carga aplicada (Q) e a área da secção transversal (A_{cis}) da peça sujeita a cisalhamento” (MELCONIAN, 2005).

A representação matemática do cisalhamento está indicada pela equação 3.

$$\tau = \frac{Q}{A_{cis}} \quad (3)$$

O elemento fusível mecânico possui área de secção transversal circular e está sujeito a um cisalhamento duplo, isto é, a força cortante será distribuída em duas secções, transformando assim a equação 3 na equação 4.

$$\tau = \frac{Q}{2A_{cis}} \quad (4)$$

Como a área da secção circular é dada por $A = \frac{\pi d^2}{4}$, então, o diâmetro do pino é determinado pela equação 5.

$$d = \left(\frac{Q}{\pi\tau} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Por se tratar de um elemento fusível mecânico, não se aplica o coeficiente de segurança no dimensionamento, pois ele deverá ser cisalhado quando a força para a movimentação da aeronave for maior que o limite estabelecido, isto é, a força (F) atuante no pino deve ser menor que a força cortante Q (equação 6) para evitar a ruptura do pino.

$$F < Q = \pi\tau d^2 \quad (6)$$

A força de tração para movimentação das aeronaves executada pelos rebocadores é o fator principal para o dimensionamento do elemento fusível mecânico e isso depende da aeronave que receberá o procedimento.

7. MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Existe um programa de manutenção preventiva proposta pela equipe técnica da TAM que é uma ação planejada, pautada e formalizada para o elemento fusível mecânico. Executando os procedimentos de manutenção no período correto pode-se evitar os efeitos do cisalhamento, e tanto a segurança como a durabilidade aumentam, pois a ruptura do elemento fusível mecânico pode trazer alguns transtornos caso o operador do rebocador não perceba o

rompimento do pino durante a operação. A (Figura 9) apresenta uma barra *push back* danificada devido o operador não ter percebido o cisalhamento do elemento fusível mecânico.



Figura 9 - Representação da barra de *push back* avariada após o cisalhamento do elemento fusível mecânico. Fonte: Arquivo TAM, 2015.

Vale ressaltar que quando isso ocorre o trem de pouso da aeronave continua intacto, sendo necessário apenas a troca da barra de *push back*, mas isso já é o suficiente para atrasar a movimentação da aeronave e trazer um pequeno prejuízo, portanto, é muito importante seguir os procedimentos, tanto da manutenção preventiva como da operação do rebocador.

8. CONCLUSÃO

Neste artigo foi demonstrado como devem ser os métodos para se realizar corretamente o procedimento de *push back*, destacando a atuação do elemento fusível mecânico (pino de cisalhamento) e como se deve dimensionar o seu diâmetro através da análise do esforço de cisalhamento.

Foi possível observar que o elemento fusível mecânico, um componente simples e barato, protege o trem de pouso de nariz (*Nose Gear*), um sistema mecânico de muita importância e com o valor muito elevado, tendo o agravante que se esse componente da aeronave for avariado, o transtorno para a aviação de linha será incalculável, pois acarretará uma sequência de atrasos, perdas de posições no aeroporto, perdas de conexões de passageiros e principalmente a perda da aeronave até que o trem de pouso seja consertado ou substituído.

9. REFERÊNCIAS

AEROSPECIALTIES. **Aeronaves Push-Back e Tratores** Disponíveis em: <<http://www.aerospecialties.com/aircraft-tow-tractors-tugs-pushbacks/large-tugs/tld-tmx-150-aircraft-pushback-tractor.html>> Acesso em 30 de novembro de 2015.

BUGLIA, G. **Fundamentos sobre o funcionamento e projeto de aeronaves**. Revista Eletrônica AeroDesign Magazine, nº 1, v2 - 2010.

HERMINE, I. B. **Aviação civil ciências Aeronáuticas - Teoria de voo de avião para pilotos**. São Paulo: 2008 (apostila).

HIBBELER R.C, **Resistência dos Materiais**, 5 ed. São Paulo: Pearson, 2004.

HOMA, J. M. **Aeronaves e Motores Conhecimentos Técnicos**. 27 ed. São Paulo: ASA, 2007.

LIEBHERR. **Trem de pouso de Nariz**. Disponível em: <http://www.liebherr.com.br/AE/pt-PT/products_br-ae_wfw/id-14722-0>. Acesso em 23 de janeiro de 2016.

MELCONIAN, S. **Mecânica Técnica e Resistência dos Materiais**, 17 ed. São Paulo: Érica, 2005.

PAULI, E. A., ULIANA, F. S. **Noções básicas de elementos de máquinas**. Espírito Santo: SENAI, 1996 (apostila).

RUCKER. **Aeroportuários**. Disponível em: <<http://www.rucker.ind.br/rucker/produto.jsp?idms=21>> acesso em 15 de dezembro de 2015.

TAM - Linhas Aéreas - Airbus – AMM – TSM – Disponível somente nos computadores com sistema da TAM: <http://www.mundotam.com.br/C7/C15/Manutenção/default_Aspx>. Acesso em 17 de maio de 2015.

TAM Linhas Aéreas. **Instrução Técnica de Trabalho – ITT 23-02-02 – Operação de push-back e reboque de aeronaves**. Revisão 08, 2014.