



**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
*August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil*

## **AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE TREM DE POUSO DE AERONAVES ATRAVÉS DO USO DE CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS**

**Fábio Henrique Eugênio Ribeiro, fherib@yahoo.com.br<sup>1</sup>**  
**Teófilo Miguel de Souza, mcpcnum1@yahoo.com.br<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Guaratinguetá, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333. CEP 12516-410, Guaratinguetá-SP.

**Resumo:** *O trabalho tem por finalidade analisar o sistema de trem de pouso de aeronaves de pequeno e médio porte e propor melhorias no mesmo, automatizando-o através do uso de Controladores Lógicos Programáveis. Devido ao grande número de sistemas de trem de pouso das aeronaves, considerou-se um sistema totalmente hidráulico, desde o comando até o acionamento do trem, e com a porta acionada mecanicamente pelo movimento do mesmo. Através do uso de um CLP, pretendeu-se aperfeiçoar este processo, automatizando-o de modo que os pilotos possam se concentrar em guiar a aeronave nos procedimentos de pouso e decolagem ao invés de se preocupar com o momento correto de comandar o trem.*

**Palavras-chave:** *Aeronave, sistema hidráulico, trem de pouso, otimização*

### **1. INTRODUÇÃO**

Segundo estatísticas do Escritório de Registro de Acidentes Aéreos (ACRO, na sigla em inglês), 71,35% dos acidentes aéreos ocorrem durante os procedimentos de pouso (50,39%) e decolagem (20,96%), o que faz com que estes sejam os momentos mais críticos durante o voo, onde um erro pode causar um acidente de grandes proporções.

Devido a isso, este trabalho tem por finalidade analisar o sistema de trem de pouso de uma aeronave e estudar uma possível otimização do sistema, automatizando-o através do uso de CLPs (Controladores Lógicos Programáveis), permitindo que os pilotos possam se focar mais na condução da aeronave ao invés de se preocupar em qual o momento exato de acionar o comando do trem e das luzes de pouso / decolagem.

Apesar do sistema de trem de pouso das diversas aeronaves serem específicos, todos possuem a mesma finalidade: controlar o levantamento e recolhimento das rodas da aeronave. Assim sendo, será considerado, para fins de estudo, um sistema básico, sem nenhum tipo de particularidade.

### **2. DESENVOLVIMENTO**

Inicialmente é explicado por que algumas aeronaves se utilizam do sistema de recolhimento do trem de pouso para, em seguida, estudar seu funcionamento básico e propor um sistema de automação o mesmo.

#### **2.1. Aerodinâmica do voo**

Para compreender por que algumas aeronaves possuem sistemas de recolhimento do trem de pouso, deve-se entender as forças básicas da aerodinâmica de uma aeronave: sustentação, peso, empuxo e arrasto. A Figura (1) ilustra estas forças em uma aeronave em voo.



Figura 1. As quatro forças básicas que atuam em uma aeronave em voo

Para um voo em linha reta e nivelado, o módulo da força de empuxo deve ser igual ao da força de arrasto e o módulo da força de sustentação deve ser igual ao da força peso.

Se a força de arrasto superar a força de empuxo, a aeronave perde velocidade. Se a força de empuxo superar a força de arrasto, a aeronave acelera. O mesmo vale para as forças de sustentação e peso, permitindo que a aeronave suba ou desça.

De modo a diminuir a força de arrasto, logo após a decolagem algumas aeronaves recolhem o trem de pouso. Para se ter ideia da magnitude da força de arrasto, o trem de pouso seria arrancado da aeronave quando em velocidade de cruzeiro.

## 2.2. O sistema de trem de pouso

Como existem diversos sistemas de trem de pouso, o sistema estudado será o mais simples possível, de forma que seja válido em qualquer situação.

Será considerado um sistema de trem de pouso do tipo triciclo (o trem dianteiro será denominado trem do nariz e o par traseiro será denominado trem principal), equipado com amortecedores óleo-pneumáticos, que recolhem para frente, e o trem do nariz deverá possuir um comando direcional da aeronave no solo. Existe, ainda, um circuito elétrico de segurança que impede que o trem seja recolhido se os amortecedores não estiverem distendidos (indicando que a aeronave está no solo) ou a roda do trem do nariz não estiver centrada.

As válvulas de controle do trem de pouso são alimentadas pelo sistema hidráulico da aeronave e por um circuito de emergência (geralmente constituído de uma bomba manual e uma linha independente), que fornece a pressão necessária para o abaixamento do trem de pouso.

As portas são acionadas mecanicamente e operam com pressão fornecida por um redutor de pressão, sendo comandadas eletricamente pela atuação de eletroválvulas que selecionam a opção de abaixar ou recolher o trem, cujas pernas são travadas mecanicamente e destravadas hidráulicamente.

O diagrama esquemático deste sistema genérico é apresentado na Fig (2), onde se pode notar a presença de uma válvula seletora cuja função é definir de onde virá a energia hidráulica necessária ao funcionamento do trem de pouso – da bomba manual ou do sistema hidráulico da aeronave, além das travas “em cima” e “embaixo” do trem e dos cilindros atuadores do trem principal e do trem do nariz. Este sistema, por ser crítico, recebe corrente elétrica da barra de emergência da aeronave, para fins de comando e indicação de posição.

O comando do trem é feito na cabine de comando por meio de um interruptor de duas posições: UP / DOWN e, neste mesmo painel, também se encontra um segundo interruptor, também de duas posições que, quando frenado (posição normal), mantém as proteções contra recolhimento inadvertido e, quando na posição de emergência, faz com que seja possível recolher o trem de pouso em emergência, anulando todo o circuito elétrico de segurança no solo.

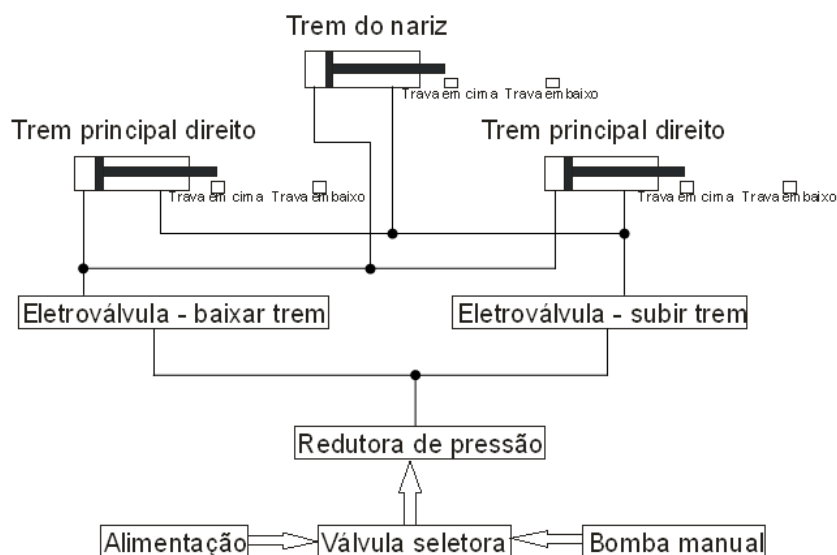


Figura 2. Diagrama esquemático de um sistema de trem de pouso genérico

Existe, ainda, um circuito de indicação de posição e alarme do trem de pouso, que compreende um indicador de posição e dispositivos de alarme de posição insegura. Este indicador possui luzes verdes e vermelhas, de modo a permitir que a tripulação possa determinar se o trem está travado em cima, em baixo ou em movimento, enquanto que o dispositivo de alarme informa que o trem não foi baixado se as condições para pouso não forem atingidas (velocidade reduzida, regime baixo de potência e abaixamento dos flaps), quando se acende uma luz no painel de alarmes, piscando o alarme geral e soando uma buzina.

O sistema, como é possível notar no diagrama, é composto de duas eletroválvulas que trabalham alternadamente, sendo uma para o recolhimento e outra para o abaixamento do trem. O comando de recolhimento ou abaixamento do trem energiza uma ou outra válvula, permitindo que a pressão se dirija para o lado conveniente dos cilindros. Existem derivações nas linhas de abaixamento e recolhimento do trem que se dirigem às travas e liberam as pernas de força de suas posições.

O recolhimento do trem de pouso, quando em condições normais, só pode ser feito com os amortecedores distendidos (aeronave não está no solo) e a roda do trem do nariz centrada.

As eletroválvulas permanecem energizadas somente quando o trem está se movimentando, pois a alimentação elétrica proveniente do interruptor de comando percorre antes um circuito com os contactores das travas do trem. Tanto no abaixamento quanto no recolhimento, as eletroválvulas têm sua alimentação cessada somente após o travamento da última perna em cima ou embaixo. A Figura (3) ilustra, de maneira simplificada, a interligação entre o painel de comando do trem e as eletroválvulas.

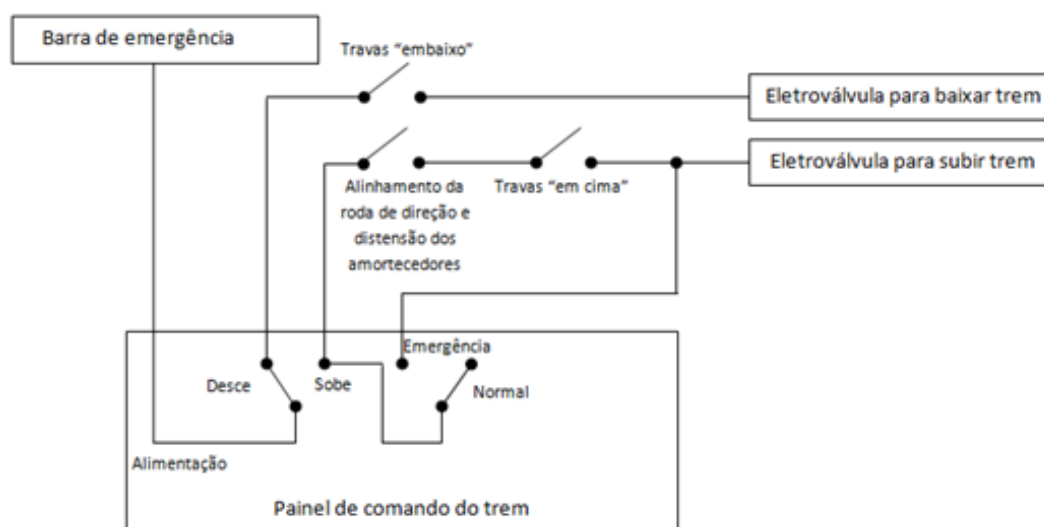
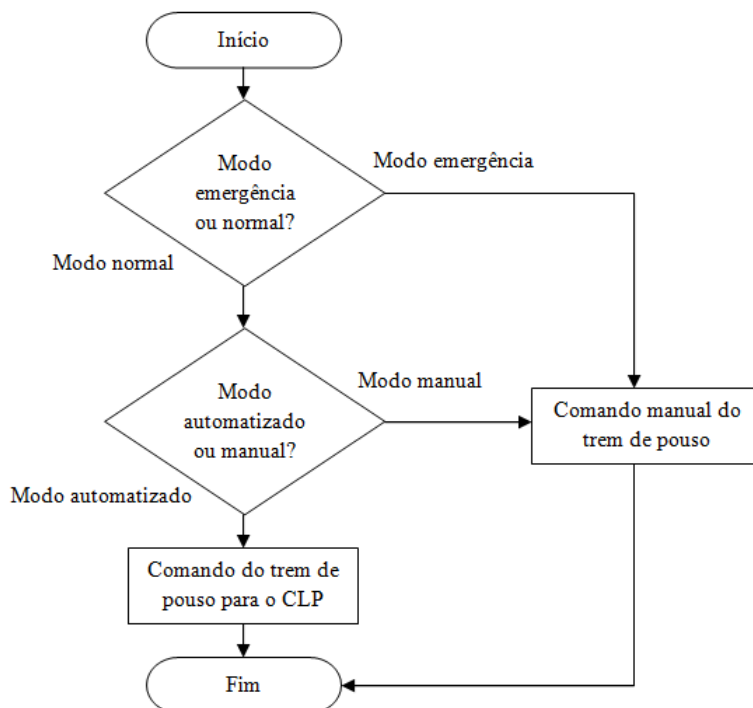


Figura 3. Interligação de comando

### 2.3. Proposta de Modificação

Como o sistema faz uso de eletroválvulas (situação mais simples), optou-se por estudar sua automação através do uso de um CLP, de modo que não é necessário efetuar grandes mudanças no sistema do trem de pouso, permitindo que seja utilizado em aeronaves mais antigas.

O fluxograma da Figura (4) demonstra em que ponto do processo de controle do trem de pouso o sistema automatizado deverá operar. Quando na posição de emergência o sistema automatizado não irá atuar. É previsto, ainda, um “modo manual” onde o sistema automatizado é desativado e o piloto pode operar o trem manualmente, como se a automação não tivesse sido implementada.



**Figura 4. Fluxograma que indica o ponto do processo onde o modo automatizado irá atuar**

Quando no modo automatizado, o CLP será responsável por controlar o abaixamento e o levantamento do trem de pouso, além de acionar as luzes de pouso / decolagem e os faróis do trem do nariz. Ele é alimentado pelos parâmetros de voo e, com base nestas variáveis, determina se a aeronave está em procedimento de pouso/decolagem ou estacionada / em cruzeiro.

Os parâmetros de voo que irão alimentar o sistema já são exibidos normalmente para os pilotos no painel de instrumentos, sendo necessária apenas uma “extensão” para o CLP. Os parâmetros utilizados pelos pilotos para determinar o momento correto de acionar o trem de pouso são mostrados abaixo e serão monitorados pelo sistema:

- Altitude;
- Posição dos flaps;
- Posição do trem de pouso;
- Potência do motor;
- Velocidade;
- Velocidade vertical.

A Tabela (1) contém os valores máximos e mínimos que permitirão ao sistema comandar o abaixamento do trem de pouso, pois a aeronave está em procedimento de aterrissagem. Estes parâmetros variam conforme a aeronave e, como exemplo, serão utilizados os valores do Embraer EMB-110 Bandeirante.

**Tabela 1. Valores que o sistema irá utilizar para comandar o abaixamento do trem de pouso.**

Parâmetro	Valor
Posição dos flaps	Maior ou igual a 50%
Posição do trem de pouso	Recolhido (travado em cima)
Potência do motor	Menor ou igual a 91% de $N_H$
Velocidade	Abaixo de 75 m/s
Velocidade vertical	Negativa

A Tabela (2) contém os valores máximos e mínimos que permitirão ao sistema comandar o levantamento do trem de pouso, pois a aeronave está em procedimento de decolagem. Estes parâmetros variam conforme a aeronave e, como exemplo, serão utilizados os valores do Embraer EMB-110 Bandeirante.

**Tabela 2. Valores que o sistema irá utilizar para comandar o levantamento do trem de pouso.**

Parâmetro	Valor
Altitude	Maior que 15 m
Posição dos flaps	Igual a 25%
Posição do trem de pouso	Abaixado (travado embaixo)
Potência do motor	Maior que 91% de $N_H$
Velocidade	Maior ou igual a $V_{50}$
Velocidade vertical	Positiva

O sistema ficará monitorando estes parâmetros e, quando forem satisfeitos, comandará o abaixamento ou levantamento do trem.

#### 2.4. Programação do Sistema

As chaves utilizadas pelo piloto são de duas posições: abaixar / recolher trem de pouso, apagar / acender luzes de pouso / decolagem, apagar / acender farol do trem do nariz e serão acionadas pelo sistema quando em modo automático. Quando em modo manual ou em modo de emergência, a parte automatizada é ignorada e o piloto deve realizar estes acionamentos manualmente.

A nomenclatura dos sinais de entrada e saída é dada na Tab (3). Para a obtenção da altitude, as aeronaves devem estar equipadas com um radioaltímetro (as aeronaves mais antigas são equipadas com altímetros barométricos, que medem a altitude a partir da pressão atmosférica). Os demais sinais mostrados no painel de comando devem ser adaptados antes de serem enviados para o CLP.

**Tabela 3. Nomenclatura dos sinais utilizados pelo CLP.**

Código	Sinal
I0.0	Flap maior ou igual a 50%
I0.1	Trem travado em cima
I0.2	$N_H$ menor ou igual a 91%
I0.3	Velocidade abaixo de 75 m/s
I0.4	Velocidade vertical negativa
I0.5	Altitude maior que 15 m
I0.6	Flap igual a 25%
I0.7	Trem travado embaixo
I1.0	Velocidade maior ou igual a $V_{50}$
I1.1	Modo automático ativado
I1.2	Modo de emergência ativado
I2.0	Comando de abaixar o trem de pouso
I2.1	Comando de subir o trem de pouso
I3.0	Comando de acender luzes de pouso
I3.1	Comando de apagar luzes de pouso
I4.0	Comando de acender farol do trem de nariz
I4.1	Comando de apagar farol do trem de nariz
Q0.0	Abaixar trem de pouso
Q0.1	Recolher trem de pouso
Q1.0	Acender luzes de pouso
Q1.1	Apagar luzes de pouso
Q2.0	Acender farol do trem de nariz
Q2.1	Apagar farol do trem de nariz

São utilizadas duas variáveis temporárias: I5.0 (que armazena o valor do comando automático de descida do trem de pouso) e I5.1 (que armazena o comando automático de subida do trem de pouso).

A rotina que deverá ser programada no CLP é exibida na Fig (5).

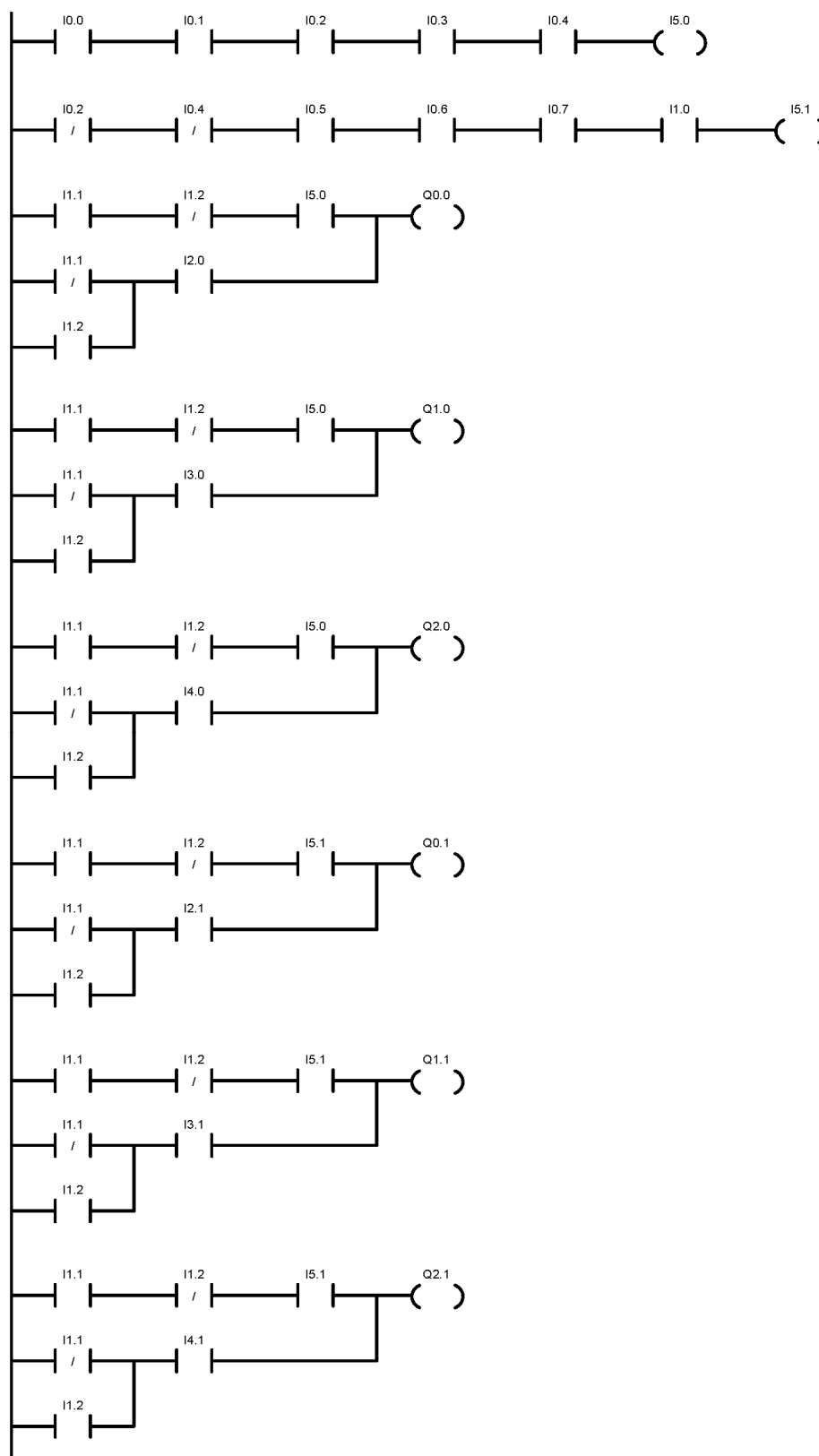


Figura 5. Programação do CLP

## 2.5. Vantagens

Uma vantagem deste sistema é que o mesmo pode ser personalizado futuramente, de modo a se automatizar mais processos ou mesmo programar melhorias no proposto por este trabalho. É possível, por exemplo, programar um sistema de freio automatizado nas aeronaves que não dispõem de tal recurso.

Através do uso de Controladores Lógicos Programáveis, as aeronaves podem ter seus sistemas automatizados com um custo muito baixo. Além de permitir que as mais antigas tenham um nível de automação próximo ao de uma aeronave moderna, aumentando, assim, sua vida útil.

Cabe ressaltar que, na instalação deste sistema, muito pouco deverá ser alterado, pois grande parte das informações e comandos que o CLP necessita já está disponível para o piloto no painel de comando, bastando apenas condicionar os sinais para que possam ser lido pelo programa.

## 2.6. Conclusões

Com o uso de um único CLP, é possível automatizar um sistema de grande importância, como o do trem de pouso, fazendo com que o mesmo passe a ser uma preocupação a menos para o piloto durante um dos momentos mais críticos do voo.

Mesmo com o sistema proposto por este trabalho ainda é possível melhorá-lo através da disponibilização de alarmes em caso de falha do modo automático, ou da criação de um sistema de “aprendizado” conforme a aeronave realiza estes procedimentos, podendo-se alterar alguns de seus parâmetros, como a velocidade e a potência do motor, não ficando preso a parâmetros fixos.

O maior trabalho consiste na instalação inicial do sistema, pois, uma vez instalado, caso se deseje programar novas melhorias, basta condicionar o sinal que chega ao piloto antes de levá-lo ao CLP para criar uma nova rotina, pois não é necessária a instalação de um novo sistema automatizado para controle de novos processos.

## 3. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL <<http://www.anac.gov.br>>.  
CENTRO DE PREVENÇÃO E INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS  
<<http://www.cenipa.aer.mil.br/>>.  
CAMARGO, V. L. A. Controladores Lógicos Programáveis. Ed Erica, 2008.  
ESCRITÓRIO DE REGISTROS DE ACIDENTES AÉREOS < <http://www.baaa-acro.com/>>.  
FIALHO, A. B. Automação Hidráulica – Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos. Ed. Erica, 2004.  
HOMA, J. M. Aerodinâmica e Teoria de Voo – Noções Básicas. Ed. Asa, 2007.  
MEDEIROS JÚNIOR, J.; MAFRA, M. A. Manual de utilização de Controladores Lógicos Programáveis – SIMATIC S7-200.  
PALMIERI, A. C. Manual de Hidráulica Básica. Ed. Albarus, 1994.  
SAINTIVE, N. S. Teoria de Voo – Introdução à Aerodinâmica. Ed. Asa, 2006.  
SIEMENS – S7-200 Programmable Controller System Manual.  
TUBBS, S. P. Programmable Logic Controller Tutorial, Siemens Simatic S7-200. Ed. Lightning Source, 2007.



**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
*August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil*

## **AUTOMATION OF AIRCRAFTS' LANDING GEAR SYSTEM USING PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS**

**Fábio Henrique Eugênio Ribeiro, fherib@yahoo.com.br<sup>1</sup>**  
**Teófilo Miguel de Souza, mcnum1@yahoo.com.br<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Guaratinguetá, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333. CEP 12516-410, Guaratinguetá-SP.

**Abstract:** *This paper focuses on analyzing small and medium aircrafts' landing gear system and proposes improvements in it, automating it using Programmable Logic Controllers. Due to a large number of aircrafts' landing gear systems, it was considered a completely hydraulic system, from its panel switch to the landing gear's activation mechanism, which door is mechanically activated by its movement. Using a PLC, it is intended to improve this process, automating it, so pilots will be able to focus only in guiding the aircraft during landing and taking off instead of worrying about the right time to activate the landing gear.*

**Keywords:** *Aircraft, hydraulic system, landing gear, optimization*