

PROJETO DE UM SISTEMA DE CONTROLE AUTÔNOMO MICROCONTROLADO PARA UM DIRIGÍVEL COMERCIAL DE PEQUENO PORTE

Rogério Savastano Ferri¹, **Marco Aurélio Machado Moreira**²,

Luis Filipe Wiltgen Barbosa³

^{1,2,3} LRA/FEAU/UNIVAP – São José dos Campos / SP

¹rogerio.ferri@embraer.com.br, ²marco.moreira@embraer.com.br, ³wiltgen@univap.br

Resumo - No presente artigo é proposto o projeto, desenvolvimento e construção de um sistema de controle autônomo para um dirigível de controle misto, com propulsão utilizando dois motores CC (movimentos de manobra à frente e à ré, direita e esquerda), e um motor CC (movimentos de manobra de subida e descida). A flutuabilidade será obtida através de um balão com gás hélio. O sistema deverá operar tanto com o controle via rádio (padrão comum em modelos comerciais), quanto autônomo microcontrolado (contribuição desta pesquisa) em ambientes fechados do tipo *Indoor*.

Palavras-chave: Dirigível, controle, microcontrolador, rádio controle.

Área do Conhecimento: III – Engenharias

Introdução

O Dirigível Rádio Controlado é um envelope (balão) inflado com gás e uma nacele (gôndola) com motores, pilotado por rádio controle e que segue os padrões de navegação básica de uma aeronave convencional, ou seja: decola (sobe) ou aterrissa (desce), navega à frente e trás, faz curvas podendo até fazer acrobacias aéreas.

Definido como um Dirigível Rádio Controlado do tipo *Indoor* para navegação em ambientes internos (VASCONCELOS, 2003) onde não sofre a ação do vento, é inflado com gás hélio (não inflamável) que é levemente mais denso que o ar, funciona com motores elétricos microcontrolados que não produzem ruídos ou barulhos, bem como, não causam interferências eletromagnéticas, sendo relativamente seguros quanto a sua utilização tanto para fins comerciais quanto para fins de acadêmicos.

A proposta deste trabalho de pesquisa é a construção de um dirigível diferenciado do mercado, isto é, além do rádio controle ter também, a função de navegação autônoma integrada no sistema de controle. Isto tornará este protótipo mais versátil, possibilitando ao operador predefinir uma altura padrão de navegação autônoma, podendo ser utilizado para o uso em propaganda, plataformas de observação, leitura e transmissão de dados, investigação científica, busca e vigilância através de vídeo-câmera e plataforma de transmissões televisivas.

Este trabalho foi desenvolvido observando-se os 3 elementos essenciais de um dirigível R/C: Envelope ou balão, rádio controle e nacele e a partir destes elementos outros componentes uniram-se ao dirigível tornando o projeto mais versátil.

Partes do Protótipo do Dirigível

Envelope do Dirigível de Controle Misto

O envelope é feito de material do tipo *nylon*, possui capacidade para 0,1415 m³ de volume de gás hélio inflado. O balão vazio possui também medidas externas de 1,20 m de comprimento por 0,65 m de altura (conforme Figura 1).



Figura 1: Fotografia do dirigível de controle misto

Nacele do Dirigível de Controle Misto

A nacele atual, ainda utilizando o modelo comercial é feita de material plástico, abriga o circuito eletrônico com receptor de sinal RC, 3 motores microcontrolados, 3 conjuntos de hélices carenadas, alojamento para bateria de *Lithium* de 3 V, chave de liga/desliga, micro-câmera, sonar, receptor de sinal RF e microcontrolador. (conforme Figura 2).



Figura 2: Fotografia da nacele

Sistema Microcontrolado do Dirigível de Controle Misto

O sistema de controle que permite ao dirigível se diferenciar dos dirigíveis comerciais (MARROQUIM, 2007), é composto por um microcontrolador da família PIC modelo 16F873A, que possui 28 portas de entrada e saída, e programação do *firmware* para a interface RC – RF, monitoramento dos sinais dos sensores e da micro-câmera. O circuito de controle microprocessado pode ser visto na Figura 3.

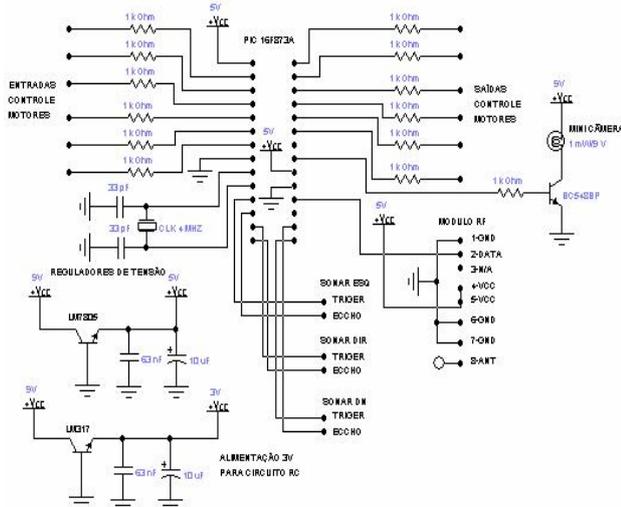


Figura 3: Fotografia do circuito de controle

Rádio Controle do Dirigível de Controle Misto

O RC opera na frequência de 49 MHz, o módulo RC possui 3 canais que controlam cada um dos 3 motores do dirigível, alternando os movimentos para frente e para trás, subida e descida.

Módulo de Rádio Frequência do Dirigível de Controle Misto

Operando na frequência de 433 MHz, o módulo RF comuta e controla as navegação autônoma ou não do dirigível, utilizando-se das mesmas

funcionalidades da operação RC. (conforme Figura 4).



Figura 4: Fotografia do módulo transmissor/receptor RF

Sensores do Dirigível de Controle Misto

São utilizados basicamente dois tipos de sensores, um para evitar colisão (sonar) e outro para auxiliar na navegação RC e servir para o monitoramento (câmera sem fio). Os sonares adaptados ao dirigível possuem a função de evitar que o mesmo venha a colidir com as paredes ou o teto do ambiente interno de navegação. Com uma unidade localizada na nacele do dirigível, e outras duas localizadas no envelope do balão, estes sensores operam em conjunto com o sistema de controle microcontrolado e têm a função de monitorar o vôo autônomo do dirigível, identificando possíveis obstáculos. Na Figura 5 pode ser observada a fotografia do modelo de sonar escolhido para esta aplicação.



Figura 5: Fotografia do modelo de sonar utilizado no dirigível

O outro sensor, a micro-câmera sem fio, esta localizada na parte frontal da nacele, e têm a função de monitorar visualmente o ambiente em que o dirigível navega. A Figura 6 mostra uma fotografia do modelo de câmera utilizado no dirigível (BERNARDINO, 2007).



Figura 6: Fotografia da micro-câmera sem fio

Características do Sistema de Controle Autônomo

A escolha dos componentes eletrônicos do dirigível baseou-se nas características físicas dos mesmos para que todo o conjunto esteja equilibrado, tanto em relação aos parâmetros elétricos (alimentação, corrente e frequência), quanto a o volume ocupado pelos componentes dentro da nacele original. As características elétricas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características elétricas

Componente	Freq.(Hz)	Cons. (mA)	Alim. (V)
Bateria <i>Alkalina</i>	1K	2 a 50	9
Bateria <i>Lithium</i>	1K	2 a 50	3
Microcâmara (<i>pinhole</i>)	-	100	5 a 12
RF transmissor	433M	5,1	5
RF receptor	433M	5,2	5
Sonar	-	2	5
Microcont. 16F873A	-	35	5
RC transmissor	49M	-	9
RC receptor	49M	-	9
RC transmissor (opcional)	27M	-	9
RC receptor (opcional)	27M	-	9

A massa de cada componente do dirigível também é um fator fundamental na escolha dos componentes uma vez que influencia diretamente no desempenho em vôo. A Tabela 2 ilustra a relação entre componente/massa e o seu efeito final na carga do dirigível.

Tabela 2 – Massa dos componentes

Componente	Quant. (un)	Massa (g)	Massa total (g)
Envelope	1un	43,823	43,823
Gôndola	1un	65,137	65,137
Tampa Nacele	1un	4,935	4,935
Bateria <i>Alkalina</i>	1un	46,597	46,597
Bateria <i>Lithium</i>	1un	16,395	16,395
Gás Hélio	0,1415m ³	23	23
Superfície Comando (<i>fins</i>)	4	1,278	5,112
Microcâmara (<i>pin hole</i>)	1	19,835	19,835
RF transmissor	1	1,2	1,2
RF receptor	1	2,3	2,3
Sonar	3	9	27
Microcontrolador PIC	1	1,5	1,5
RC transmissor	1	-	-
RC receptor	1	-	-
RC transmissor (opcional)	opcional	-	-
RC receptor (opcional)	opcional	-	-

Cálculo Aproximado da Carga do Dirigível

O cálculo da carga do dirigível é apresentado nas Tabelas 3 e 4 que mostram o calculo do empuxo, e do peso máximo suportado (HALLIDAY, 1994). Na Figura 7 é apresentado um esquema mostrando a relação empuxo x peso em um balão.



Empuxo (E) e Peso Total (P)

Figura 7: Esquema mostrando o empuxo e o peso total do balão

Tabela 3 – Cálculo do Empuxo

Cálculo do Empuxo

$$E = \mu_f \cdot g \cdot V_c$$

μ_f : massa específica do fluido (no caso o ar)

g : campo gravitacional

V_c : Volume do corpo

Dados:

$$\mu_f = 1,29 \text{ kg/m}^3; g = 9,79 \text{ m/s}^2; V = 0,141584 \text{ m}^3$$

$$E = 1,29 \cdot 9,79 \cdot 0,141584 = 1,7880 \text{ N}$$

Tabela 4 – Cálculo do Peso Total

Cálculo do peso máximo suportado

Massa de gás hélio:

$$pV = nRT \text{ (equação de Clapeyron)}$$

p : pressão

V : volume de gás

n : quantidade de gás

R : constante universal dos gases

T : temperatura absoluta

$n = m/M$

m : massa de gás

M : massa molar do gás

Dados:

$$p = 1 \text{ atm}; V = 141,584 \text{ L}; R = 0,082 \text{ atm.L/mols.K}$$

$$T = 298 \text{ K (25}^\circ\text{C)}; M = 4 \text{ g/mol}$$

$$1 \cdot 141,584 \cdot 4 = m \cdot 0,082 \cdot 298$$

$$\text{Então } m_{\text{He}} = 23,17 \text{ g}$$

No equilíbrio, tem-se:

$$E = P \Rightarrow P = 1,7880 \text{ N} = m_T \cdot g$$

$$m_T = 182,63 \text{ g}$$

$$m_{\text{disponível}} = m_T - m_{\text{He}} - m_{\text{gôndola}} - m_{\text{balão}} = 182,63 - 23,17 - 65,137 - 43,823 = 50,50 \text{ g, disponível para carga.}$$

Lógica de Funcionamento

Os 4 (quatro) módulos operacionais são: *Módulo Manual ou Rádio Controlado (MRC)*, *Módulo Autônomo Microcontrolado (MAM)*, *Módulo de Emergência (ME)* e *Módulo da Micro-Câmera (MMC)*.

No MRC, o dirigível navega conforme atuação direta do seu operador, no MAM a navegação se dá de forma autônoma integrando os sonares, microcontrolador e motores, no ME a navegação ocorre também de forma autônoma, integrada aos sonares, microcontrolador e motores, porém pousando automaticamente o dirigível em segurança quando perder o sinal de RC. O MMC é independente e pode ser acionado a qualquer tempo. A unidade transmissora é localizada no dirigível e a unidade receptora localiza-se em solo transmitindo vídeo e áudio para uma TV.

Na Figura 8 é apresentado o fluxograma operacional do dirigível.

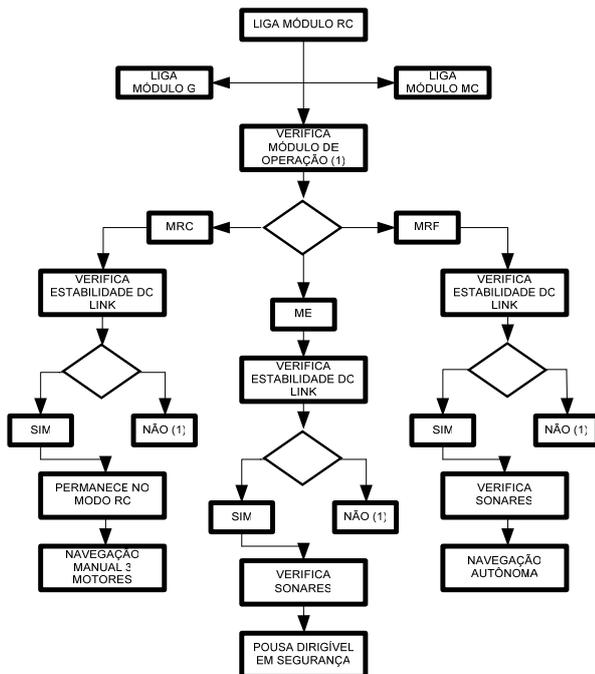


Figura 8: Fluxograma operacional do dirigível

Definição da Navegação do Dirigível de Controle Misto

Na navegação rádio controlada, que é ativada pelo módulo RC, é energizado o MRC e a nacele. Neste momento o operador define altitude de vôo e produz as operações de navegação básica para frente, para trás, de subida e descida com desvio manual de obstáculos.

Na navegação autônoma e microcontrolada, que é ativada pelo módulo RC, é energizado o MAM e a nacele. Neste o operador define altitude de vôo e pode, a qualquer momento, desativar o

RC e ativar o RF (MAM) por chave tipo seletora. Quando isto ocorre às operações de navegação passam a ser autônomas, incluindo o desvio de obstáculos com o uso dos sonares.

A navegação de emergência é ativada pelo módulo RC. Este procedimento é automático, e ocorre sempre que o dirigível perde o sinal de RC. A operação de navegação passa a ser autônoma buscando pousar o dirigível em segurança.

Resultados

Os primeiros ensaios de desempenho em navegação apresentaram os seguintes resultados: aceleração com os 2 motores à frente com potência máxima – 6,5m em 10s, desaceleração com o corte dos 2 motores e parada e inércia de movimento – 3,0m em 10s, razão de subida igual a 2,33m em 15s, razão de descida igual a 3,0m em 15s.

Os testes elétricos provenientes das integrações dos módulos operacionais MRC e MAM ainda não foram completados.

Conclusão

O projeto do sistema de controle misto do dirigível foi integralmente realizado, permitindo a obtenção de uma aeronave, diferenciada no mercado.

Este dirigível experimental ainda deve passar por outros testes. Se os resultados forem satisfatórios, o mesmo poderá ser utilizado para propaganda e avisos da SEAU (*SEmana da Engenharia e Arquitetura* da FEAU).

Modificações no projeto original terão que ser incluídas, principalmente na nacele para melhorar a manobrabilidade do dirigível.

Referências:

- HALLIDAY, J.; WALKER, J.; RESNICK, R.; *Fundamentals of Physics*, John Wiley & Sons, 1994.
- VASCONCELOS, Y; *Dirigível Autônomo, Inteligente e sem Piloto*; FAPESP – Ciência e Tecnologia no Brasil; Edição impressa 84 – Fevereiro 2003.
- MARROQUIM, R.G; *Estudo de um Sistema de Controle para um Dirigível Autônomo*; Dept. de Tecnologia em Processamento de Dados; PUC-Rio De Janeiro. Disponível em http://www.lcg.ufrj.br/Members/ricardo/blimp_doc.pdf . Acesso em 21 de fevereiro de 2007.
- BERNARDINO, A.; *Controlo de Dirigível Autônomo por Visão (Vídeo Blimp)*; Depto de Eng. Electrotécnica e de Computadores – Secção de Sistemas e Controlo; Disponível em http://users.isr.ist.utl.pt/~jasv/tfcs/tfc_2002_2003/index.html . Acesso em 21 de fevereiro de 2007.