

## UMA PLATAFORMA PARA CONTROLE AUTÔNOMO DE ROTAS DE DIRIGÍVEL NÃO TRIPULADO

Constantino Gonçalves Ribeiro, constantino.g.r@ufrj.br<sup>1,2</sup>  
Max Suell Dutra, max@mecanica.coppe.ufrj.br<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CEFET-RJ, UnED Itaguaí, Rodovia Mário Covas, lote J2, quadra J – CEP: 23810-000, Distrito Industrial de Itaguaí – RJ - Brasil

<sup>2</sup>Centro de Tecnologia, bloco G, salas 202 / 203 / 204, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Cidade Universitária - Ilha do Fundão, Caixa Postal 68.503, CEP 21945-970, Rio de Janeiro – Brasil

**Resumo:** As aplicações e usos dos veículos aéreos robóticos estão cada vez mais comuns em muitas tarefas do dia a dia em muitas organizações. Entretanto, o uso de tais plataformas robóticas não significou uma queda nos custos das tarefas por elas desempenhadas e este fato se deve a operação destas plataformas que demandam instalações complexas em terra e operadores especializados para operá-las. Este trabalho propõe um veículo aéreo não tripulado (VANT) que desempenhe as tarefas básicas de controle da rota de forma mais independente possível de intervenção humana e, conseqüentemente, com uma melhor relação custo benefício. Para que a plataforma proposta opere desta maneira um novo conjunto de regras de evasão de colisões com obstáculos e um cluster embarcado de computadores foi desenvolvido para que as decisões de controle de rota e evasão de colisões fiquem a cargo do VANT. O veículo aéreo escolhido para usar o sistema proposto foi um dirigível devido a sua dinâmica, estabilidade, carga transportada e baixo impacto ambiental. Para testar a proposta foram desenvolvidos sistemas de controle e de simulação, e um protótipo de um cluster embarcado. Os testes realizados provaram a sua viabilidade.

**Palavras Chave:** VANT, dirigíveis, regras de navegação, RIPEAM72, sistema paralelo distribuído embarcado

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente as tarefas de vigilância desempenhadas por aeronaves são, na sua maioria, de longa duração e monótonas podendo ser desempenhadas por máquinas robóticas que minimizam problemas de fadiga e resistência física das tripulações. Além disso, os avanços da eletrônica diminuíram as dimensões dos equipamentos, facilitando o uso embarcado de sensores, equipamentos de comunicação global e geoposicionamento global, barateando seus custos.

Com a escalada dos custos destas tarefas, especialmente as relacionadas à defesa e vigilância como descrito em Defense Industry Daily staff (2007) e apresentado no Quadro 1, e como descrito em (Defense Industry Daily staff 2007 e Azinheira, 2002), a utilização dos dirigíveis autônomos vem sem cogitada como um substituto para os atuais veículos tripulados utilizados e em algumas tarefas realizadas por drones. Para que o uso dos dirigíveis autônomos seja viável, devem-se desenvolver novos sistemas de controle de rotas robustos e confiáveis, além de um método de controle de evasão de colisões simples e que seja integrado com as regras de movimentação no ambiente de navegação.

**Quadro 1 – Custos de operação das principais plataformas de vigilância**

Plataformas	Custo (\$ por hora)
Balão com 71 metros baseado em terra	610
MQ-1 Predator (Avião robô) – altitude de operação: média; alcance: longo	5.000
Grumman E-2C “Hawkeye” – AWACS (Sistema de alerta antecipado embarcado) – Avião embarcado	18.000
RQ-4 Global Hawk (Avião robô) – altitude de operação: alta; alcance: longo	26.000

Neste contexto, a indústria aeronáutica segue fortemente motivada tanto pela alta demanda de aviões de carga e/ou passageiros quanto pela constante evolução das plataformas produzindo equipamentos com custo benefício satisfatórios para os mercados. O uso dos atuais tipos de aeronaves é também incentivado pelo fato de existir uma vasta infraestrutura para o uso das mesmas, na forma de aeroportos, terminais de cargas, instalações de reparo e manutenção,

bem como um amplo e minucioso conjunto de regras e legislações para o uso destas aeronaves e de suas instalações (U.S. Department of Transportation, 2012 e U.S. Department of Transportation, 2008).

A utilização das aeronaves de asa fixa tripuladas para o transporte de bens ao redor do mundo deve-se aos fatores acima expostos aliados a disponibilidade de combustíveis fósseis e a facilidade de obtenção de mão de obra para operação e manejo destes equipamentos. Um fato que pode contribuir para mudança deste quadro é a crescente preocupação com impacto ambiental que tais aeronaves, movidas a poderosos motores de combustível fóssil, possam estar causando ao meio ambiente. Alguns estudos sugerem que o impacto deste uso é considerável e problemas como: a poluição sonora (nos pousos, decolagens e taxiamento), o despejo de combustível no ar para pousos não programados, as emissões de gases de efeito estufa (Clark, 2010 e Committee on Aeronautics Research and Technology for Environmental Compatibility, 2002) e suas consequências não devem ser desprezados e podem trazer mais malefícios para as populações locais que as benesses econômicas. Cabe ainda mencionar a grande aceitação e uso de aeronaves de asas rotativas – os helicópteros – em tarefas das mais diversas, as quais demandam habilidades extras de manobra e guiagem, acarretando um maior custo deste tipo de aeronave, seja pela fabricação mais complexa do helicóptero, ou pela necessidade de pessoal mais qualificado para sua operação e manutenção (Newman, 1994). Além disso, as características do envelope de voo das aeronaves de asas rotativas conferem uma menor carga útil por distância de voo, se comparadas com os valores de aeronaves de asa fixa com potência semelhante.

Embora o contexto atual aponte para uma situação estável quanto à utilização das atuais aeronaves, nichos específicos (vigilância, busca, coleta de dados, transporte automatizado, etc...) podem mudar este cenário. Uma nova proposta de plataforma autônoma, de menor complexidade pode vir a suprir as necessidades destes nichos: um dirigível robótico autônomo. Os dirigíveis possuem construção e operação mais simples, necessitam planejamento de rotas menos complexos. Além disso, por flutuarem não gastam parte de sua energia para se manter voando, podendo ter uma autonomia muito maior que qualquer outro tipo de aeronave. Estes fatores além de diminuir os custos do uso dos dirigíveis, possuem características que se adequam a realização das missões de vigilância e busca, pois devido a grande autonomia, podem permanecer sobre a área alvo por longos períodos. Outras boas características são: boa capacidade de carga, baixo impacto ambiental ou mesmo nenhum impacto se forem usados suprimentos de energia limpos, facilidade de manobra e manuseio – menores danos em caso de falha entre outras. Aliado a modernos sensores e câmeras e usando computadores embarcados, um dirigível autônomo desempenhará certas tarefas melhor do que as plataformas tripuladas em tarefas onde a fadiga humana pode deteriorar a qualidade do serviço.

Desta forma, este trabalho propõe um veículo aéreo de controle autônomo de rotas baseado em um dirigível controlado por um sistema de determinação de rotas ótimas e evasão de colisões com objetos fixos e / ou móveis, executado em um hardware paralelo / distribuído embarcado que quando operados em conjunto resultarão em uma aeronave autônoma com características inovadoras.

Para melhor compreensão, na segunda seção são apresentados os trabalhos relacionados; na terceira seção é apresentada a proposta do VANT; na quarta seção são apresentados os testes e os resultados encontrados, e, finalmente, na quinta seção são apresentadas as considerações finais deste trabalho.

## 2. TRABALHOS RELACIONADOS

A tarefa de planejar as rotas de um veículo tem sido muito estudada. Tal tarefa é considerada um problema computacionalmente complexo ou que cresce de maneira polinomial, onde o tempo de resolução pode ser muito grande. Nesta sessão descrevem-se os trabalhos mais relevantes e relacionados a esta proposta e aplicados a área de robôs móveis.

A evasão de colisão em ambientes dinâmicos (com obstáculos móveis) é discutida por Badia *et al.* (2005), o qual apresenta uma comparação das necessidades e dificuldades requeridas por duas plataformas: dirigíveis e helicópteros. O autor propõe uma abordagem baseada no modelo de visão de insetos (no caso, a visão de um gafanhoto) modelada como uma rede neuronal para evitar colisões em um helicóptero robótico, onde a direção do objeto a ser evitado é fornecida segundo o modelo de correlação de Reichardt.

O controle de atitude de um dirigível robótico que se mantém sobre uma posição predeterminada é proposto por Yang (2012) empregando a técnica de controle deslizante sendo esta implementada através de um sistema baseado em lógica Fuzzy, utilizando filtro Lyapunov e o teorema de estabilização.

Dadkhah (2009) propõe um método de otimização do tipo horizonte distante ou alcançável para ambientes do tipo desconhecidos. Esta proposta se baseia em um tempo finito de otimização e depende da capacidade computacional do equipamento usado. Para isto foi desenvolvido um modelo de estado finito do movimento do veículo robótico que foi testado em um mini-helicóptero robótico. A proposta também implementa uma função de custo chamada de descarte de cauda ou trilha do horizonte.

A tarefa de controlar um robô dirigível em um ambiente sujeito a fortes ventos foi estudada por Saiki (2010), que propôs o uso de controle da estabilidade da aeronave através da técnica de seguir a rota, navegando contra o vento onde o controle da estabilidade é feito por uma função de Lyapunov, segundo regras pré-estabelecidas. Foram realizados testes satisfatórios com um dirigível de controle remoto de 12 metros devidamente adaptado.

Uma proposta de controle da fluidez e da atitude de um dirigível usando somente uma variação de densidade de um par de balonetes, foi proposta por Xiaotao (2009). Nesta proposta a ideia é usar sistemas presentes em diversos animais planadores aquáticos, como o meio de locomoção da aeronave, mas levando-se em conta a diferença de comportamento de tais estruturas na atmosfera onde o ar é um fluido compressível. Para viabilizar o mecanismo, um

sistema de controle de retro alimentação é proposto a partir das equações de movimento da aeronave estudada. Neste sistema de controle um regulador quadrático linear é usado para gerar os ganhos da retro alimentação.

A otimização de trajetórias usando a abordagem de horizonte finito recuado foi proposta por Mettler (2008). Neste trabalho uma função de Lyapunov é usada como função *cost-to-go* na confecção de grafo de visibilidade levando a otimização de rotas a serem resolvida como um problema de controle de estados finitos e de decisão sequencial na integração de planejador global com a vazão apresentada pelo método de horizonte finito recuado. O trabalho apresenta comparações de desempenho e de carga computacional de um modelo em uso e do modelo que esta sendo proposto. Para este trabalho foram efetuados testes em ambientes reais conduzidos em um helicóptero robótico Blade CX.

Uma aplicação simples e robusta de sistema de navegação com logica *fuzzy* é descrito por González (2009) onde foi usado como protótipo um robô dirigível comercial (Plantraco), com caverna rígida de 52 polegadas e com capacidade de levar até 200 gramas de cargas. Nesta proposta, sensores de ultrassom fornecem informações sobre o meio ambiente e alimentam um sistema *fuzzy* de evasão de colisões que gera guinadas de 180 graus. Os resultados dos testes mostraram um comportamento balanceado do controlador *fuzzy* o qual pode até mesmo vir a ser treinado.

Um sistema de controle de rotas para um robô dirigível usado na vigilância e monitoramento de áreas que sofreram desastres naturais é a o tema de Fukao (2008), o qual usa o método de campos de velocidade e um controlador ótimo de traçado inverso como estratégia de controle. Tal estratégia foi eficaz em ambientes com ventos, pois evita o uso do tempo na formulação de trajetórias. O controlador inverso ótimo consiste em um sistema de duas coordenadas ( $x$  e  $y$ ), *looping* não linear baseado em uma equação de Hamilton-Jacobi-Bellman, e filtro de Lyapunov, para o controle horizontal do veículo. Os testes práticos foram realizados por um dirigível com 12,2 metros de comprimento, carga admissível de até 15 quilogramas, equipado com sensor de ventos e câmera estéreo.

Rottmann (2007) propõe um controle de rotas no qual o método de aprendizado reforçado *on-line* foi utilizado. Neste trabalho a manutenção da altitude do dirigível é efetuada sem o conhecimento prévio das condições ambientais, através do uso de agentes (programas de computadores autônomos), os quais recebem bônus por ações corretas maximizando o método de Monte Carlo para busca de soluções. Este método permite um aprendizado direto, sem a necessidade de armazenamento prévio de informações por parte dos programas agentes. Para evitar problemas relacionados com o tamanho do espaço de busca relativos à função de aprendizado, usa-se uma função gaussiana sobre o espaço de pares de estados-ações, onde os estado destes pares, são capturados por sensores de ultrassom com um filtro de Kalman para a retirada de ruídos, durante a movimentação do dirigível. Os testes práticos foram realizados com um dirigível comercial de 1,8 metros de comprimento em galpão de fábrica com vão de até 5 metros de altura.

Uma modelagem matemática de um dirigível robótico que captura toda dinâmica do mesmo é descrita por Gammon (2006) onde um controle preditivo e adaptativo não linear robusto é usado para a sua navegação e guiagem, mesmo sob perturbações ambientais. No desenvolvimento deste controle, dados sobre as diversas situações comuns de uso do dirigível (tais como: voo longitudinal, ascensão, guinadas, etc) foram coletadas e o programa MATLAB foi usado na geração de um modelo matemático da dinâmica do dirigível.

Gomes (2013) menciona o trabalho proposto por Azinheira (2002) relacionado com o projeto AURORA onde o controle automático de posicionamento estático (*hovering*) usa um método de controle ótimo com retroalimentação de erro, segundo uma modelagem clássica com ângulos de Euler. Nesta proposta, uma câmera é usada para obtenção de imagens que após a devida modelagem, gera um conjunto de sinais elementares estabelecendo uma relação entre a velocidade e os elementos em terra (alvo). A modelagem é similar a do problema do pêndulo, só que neste caso o que se quer é a associação do movimento a uma distância igual à zero em relação ao dirigível. Nesta modelagem também são considerados os efeitos dos ventos e outras perturbações ambientais, sendo conduzidos testes em três situações: sem vento e sem perturbações; com ventos e perturbações fracas; e com ventos e perturbações fortes.

### 3. PROPOSTA DO VANT

Este trabalho apresenta a proposta de um veículo autônomo não tripulado baseado em um dirigível controlado por um sistema de determinação de rotas ótimas e evasão de colisões com objetos fixos e móveis, operado por um hardware paralelo / distribuído embarcado. O dirigível foi escolhido como aeronave devido a sua dinâmica, estabilidade e alcance de voo.

#### 3.1 VANT proposto: aeronave e sensores

Para garantir autonomia de voo o dirigível proposto possui um compartimento para alocação e conexão dos sensores / equipamentos mínimos para que o mesmo opere de maneira autônoma, a saber: bússola eletrônica, giro, GPS (*Global Positioning System*), LIDAR (*Light Detection And Ranging*) de longo alcance, câmeras de alta definição, medidor de velocidade, medidor de velocidade e direção do vento, rádio *link* e computador paralelo / distribuído de bordo. O espaço / carga de trabalho deve ser suficiente para permitir, além dos sensores / equipamentos básicos já mencionados, o uso de itens extra, específicos para a realização de certas tarefas.

#### 3.2 Sistema de controle da missão

O VANT possuirá um sistema de controle da missão o qual a partir de um conjunto inicial de alvos ( $P_1$  e  $P_2$ ) representados por suas coordenadas geográficas ( $\varphi$  e  $\lambda$ ), calcula as distâncias geográficas (arco  $s$ ) através do método de cálculo da distância esférica entre dois pontos geográficos (arco  $s$ ) como mostra a Figura 1.

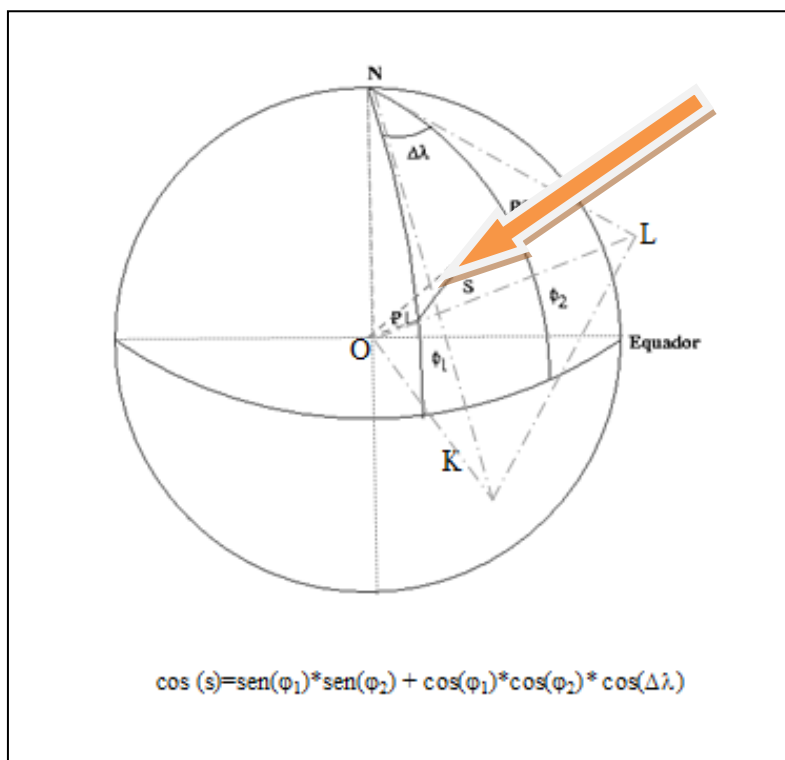


Figura 1 – Cálculo da distância esférica (arco  $s$ ) entre dois pontos geográficos.

O modo de operar do sistema de controle da missão esta representado na Figura 2 onde um fluxograma representa os principais módulos do sistema e a interação entre eles.

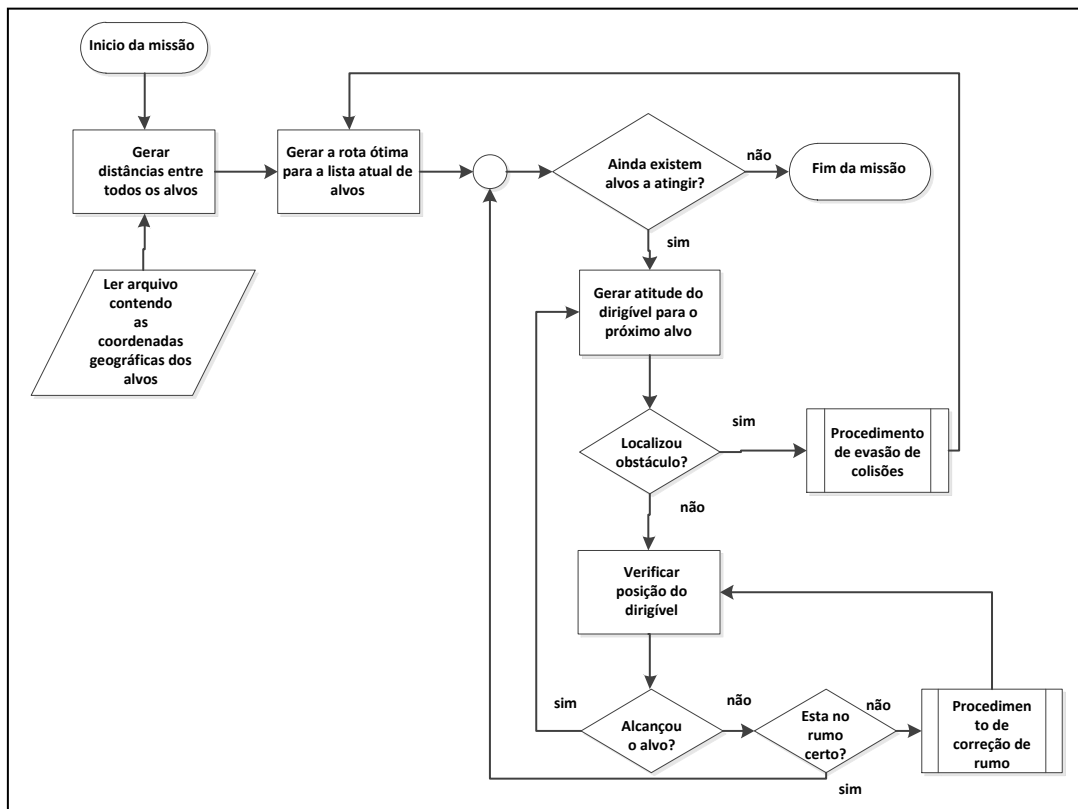


Figura 2 – Algoritmo do sistema de controle da missão.

Para aproveitar toda a potencialidade da plataforma paralela / distribuída embarcada, os programas de determinação de rotas e de evasão de colisões devem possuir comandos que paralelizem ou distribuam as tarefas a serem executadas. Para o controle de rotas, ora proposto, primeiro calculam-se as distâncias geográficas através do método de cálculo da distância esférica entre dois pontos geográficos, considerando estes como os alvos a serem alcançados pelo robô dirigível. Após calcular as distâncias entre todos os pontos usa-se um programa de descoberta de rotas ótimas do tipo TS (*Traveler Salesman*). Ambos os programas foram adaptados para serem usados em um *cluster Beowulf* (Top 500 Supercomputer sites, 2013; Reschke, 1996; e Becker, 1995) e, conseqüentemente, apresentar melhores resultados. Estes programas foram escritos em C usando a biblioteca de comandos de passagem de mensagem MPI (*Message Passing Interface*), que é uma biblioteca usada para a distribuição e/ou paralelização das tarefas entre os processadores de *cluster* de computadores.

Na evasão de colisões foi adotada a seguinte metodologia: primeiro o LIDAR determina se o objeto detectado é do tipo móvel ou fixo. Caso o objeto seja do tipo fixo usa-se a estratégia de seguir a parede para contornar o objeto. Para a evasão de colisões com objetos móveis uma nova metodologia foi desenvolvida a qual é baseada nas regras do RIPEAM72. Estas regras são adotadas na navegação para evitar abaloamento entre navios (U.S. Department of Homeland Security, 2013; e Marinha do Brasil – Diretoria de Portos e Costas, Normas e Procedimentos para as Capitânicas – RIPEAM, 2013). A razão de se propor tal conjunto de regras para evitar colisões com objetos móveis foi baseada no fato de que os dirigíveis se comportam de maneira similar aos navios, com relação as suas dinâmicas. A Figura 3 descreve os conjunto de procedimentos e sub-procedimentos da evasão de colisões.

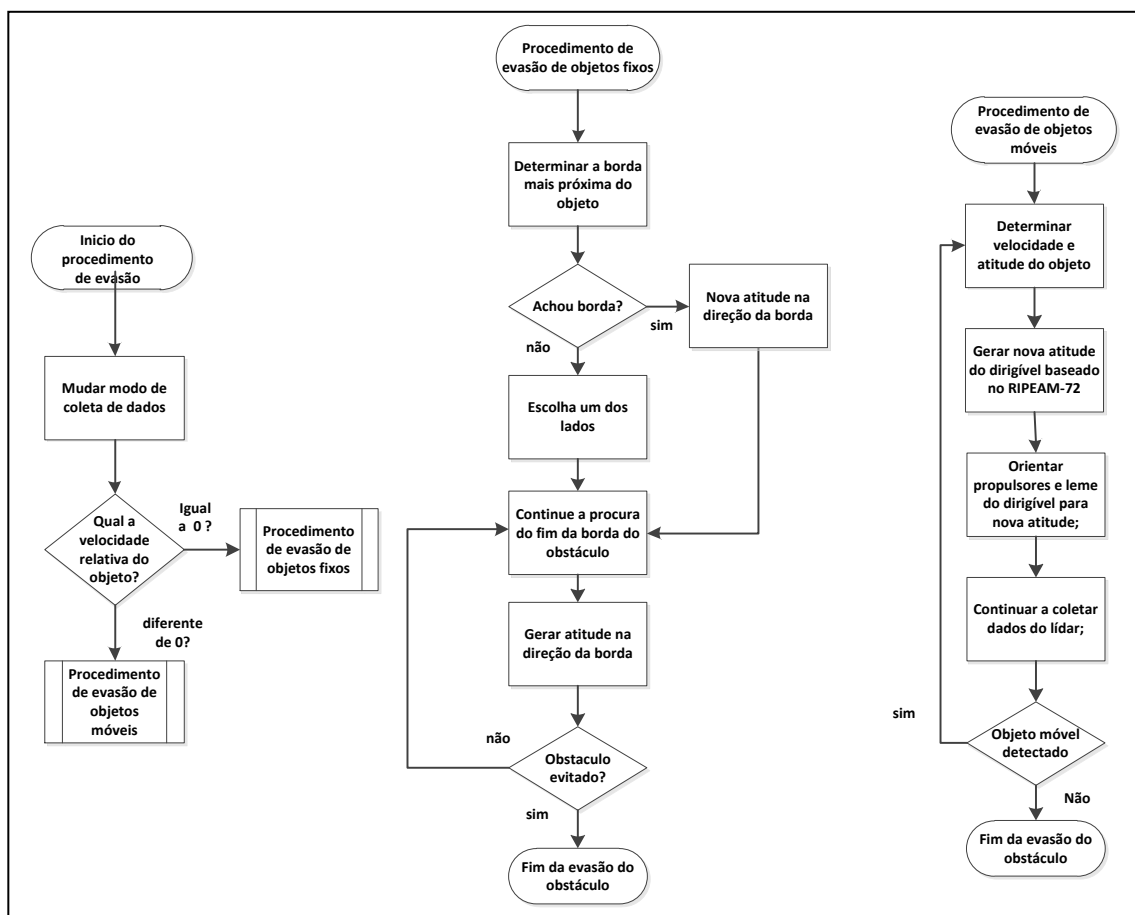


Figura 3 – Fluxograma descrevendo os procedimentos de evasão de colisões.

Para validar as regras de evasão de colisões nos dois possíveis cenários (a ocorrência de obstáculos fixos ou de obstáculos móveis), foi desenvolvido um simulador de atitudes no ambiente gráfico de desenvolvimento de programas Delphi. A Figura 4 exibe a tela inicial deste simulador que oferece a possibilidade de configurar as condições iniciais da simulação de atitudes dos objetos e do dirigível, tais como: posição e tamanho do obstáculo fixo; posição, tamanho e rumo do obstáculo móvel. Além disso, o programa simula o funcionamento do LIDAR, o qual deve equipar o dirigível para a detecção e aquisição de dados sobre os objetos a serem evitados. Os testes realizados mostraram que as regras de evasão de obstáculos funcionam evitando a colisão frontal do dirigível.

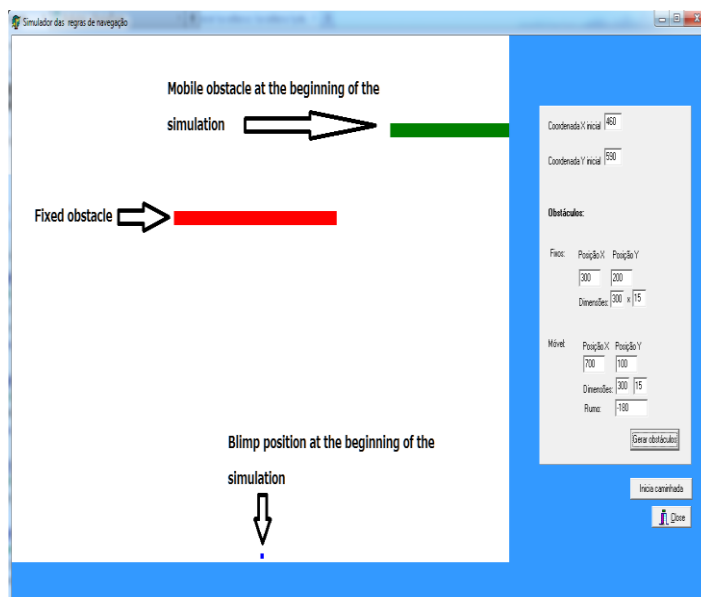


Figura 4 – Tela do simulador de evasão de colisões.

### 3.3 Cluster paralelo distribuído embarcado

A determinação das rotas ótimas em tempo real é uma tarefa crítica dentro da proposta de autonomia de operação. Em um cenário típico, o dirigível realiza uma manobra de evasão, usando recursos do LIDAR e as regras de evasão propostas pelo simulador descrito na seção anterior. Ao final da manobra de evasão, o dirigível está fora da rota planejada a qual estava em execução naquele momento da missão. Quando isto acontece, o sistema de controle da missão obtém sua posição atual via GPS, descarta os pontos já alcançados pelo seu plano de voo, inclui a posição atual (obtida pelo GPS) como ponto de partida para alcançar o restante dos alvos e recalcula uma nova trajetória ótima. Este cálculo é realizado por um programa TS paralelizado o qual é executado pelo *cluster* embarcado. Além disso, o *cluster* pode ser segmentado para executar outras tarefas da missão em paralelo e/ou de maneira distribuída.

O *hardware* escolhido para a construção do *cluster* foi placa ODROID-x2 (Hardkernel Co., Ltd, 2013; Ralph, 2012; Larabel, 2012; e redOrbit Staff & Wire Reports - Your Universe Online, 2012) que usa arquitetura ARM como apresentado na Figura 5, e onde são descritas suas características técnicas básicas.

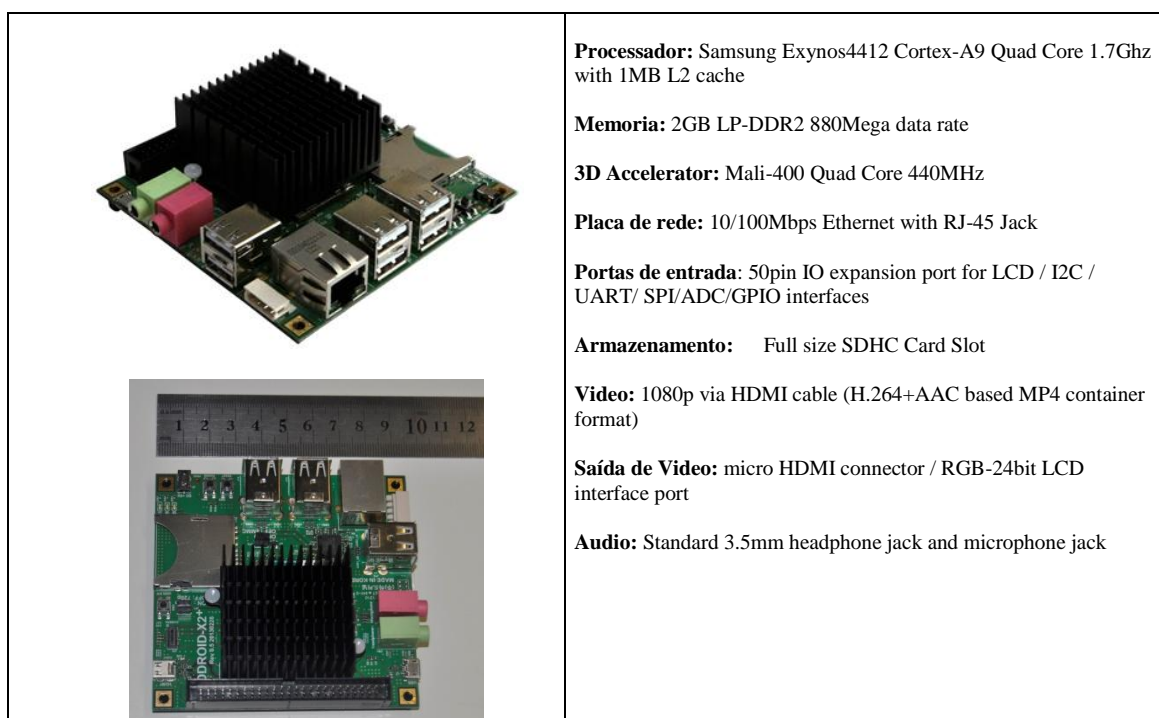


Figura 5 – Placas ODROID-x2.2

O *cluster* inicial usado nos testes de prova do conceito é constituído por quatro placas ODROID-x2 interconectadas por um gigaswith de 8 portas. Cada um dos nós do *cluster* executa uma versão apropriada do sistema operacional Linux, a distribuição Ubuntu (versão Linaro) com compilador C e a biblioteca MPI, como mostra a Figura 6.

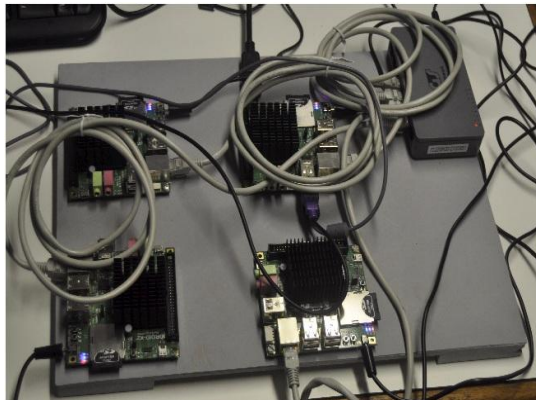


Figura 6 – Protótipo do *cluster* embarcado.

#### 4. TESTES E RESULTADOS

Com a finalidade de provar o conceito de evasão de obstáculos proposto, foram realizados testes no ambiente de simulação de atitudes desenvolvido em Delphi 6. Os testes se basearam nos rumos típicos de aeronaves orientadas segundo os pontos cardeais para as seguintes situações listadas no Quadro 2. Segundo este quadro foram testadas as seguintes situações: evasão de colisão com objetos fixos no rumo do dirigível-robô, evasão de colisão com objetos móveis que rumavam em direção a rota do dirigível-robô e combinações de objetos móveis e fixos atuando ao mesmo tempo e no rumo do dirigível-robô.

**Quadro 2 – Situações de possíveis colisões testadas no simulador de atitudes**

Dirigível	Objeto fixo	Objeto móvel	Resultado
Sul-norte	Em frente do rumo do dirigível	-	Evasão
Sul-norte	-	Leste-oeste cruzando o rumo do dirigível	Evasão
Sul-norte	-	Oeste-leste cruzando o rumo do dirigível	Evasão
Sul-norte	-	Sudoeste-Nordeste cruzando o rumo do dirigível	Evasão
Sul-norte	-	Noroeste-sudeste cruzando o rumo do dirigível	Evasão
Sul-norte	-	Sudeste-noroeste cruzando o rumo do dirigível	Evasão
Sul-norte	-	Nordeste-sudoeste cruzando o rumo do dirigível	Evasão
Sul-norte	Em frente do rumo do dirigível	Leste-oeste cruzando o rumo do dirigível	Evasão
Sul-norte	Em frente do rumo do dirigível	Oeste-leste cruzando o rumo do dirigível	Evasão
Sul-norte	Em frente do rumo do dirigível	Sudoeste-Nordeste cruzando o rumo do dirigível	Evasão
Sul-norte	Em frente do rumo do dirigível	Noroeste-sudeste cruzando o rumo do dirigível	Evasão
Sul-norte	Em frente do rumo do dirigível	Sudeste-noroeste cruzando o rumo do dirigível	Evasão
Sul-norte	Em frente do rumo do dirigível	Nordeste-sudoeste cruzando o rumo do dirigível	Evasão

Em todas as situações descritas no Quadro 2 e testadas pelo simulador, a evasão de colisão ocorreu, o que prova o conceito das regras adotadas, satisfazendo assim as necessidades do sistema controle de evasão de colisão com objetos do dirigível-robô proposto.

Com a finalidade de usar um cenário o mais próximo possível da realidade foram usadas 80 cidades alvos no estado do Rio de Janeiro. As coordenadas geográficas foram obtidas no *site* IBGE (*Instituto Brasileiro de Geografia e*

*Estatística*) e foram previamente gravadas em um arquivo texto que é lido pelo programa de cálculo de distâncias geográficas. Nos testes teóricos de obtenção da melhor rota, as coordenadas geográficas são usadas como entrada do sistema de geração de rotas ótimas, no início da missão do dirigível robô. O programa de controle de missão fornece como saída a melhor rota a ser seguida naquele instante (início da missão) e na posição atual do dirigível (cidade 0). Nos testes teóricos realizados, parte-se da cidade do Rio de Janeiro (cidade 0) e deve-se alcançar as outras cidades alvos através da melhor rota possível (rota mais curta) naquele instante. Para atender estes requisitos de controle da rota da missão do dirigível-robô, dois programas, um para a descoberta das distancias geográficas entre os alvos e outro para determinação da rota mínima para atingir todos os alvos, foram desenvolvidos. Os programas foram desenvolvidos em C, sendo uma versão sequencial (para ser executados em um só processador ARM) e outra distribuída, usando a biblioteca de passagem de mensagem MPI (para ser executada de maneira paralela/distribuída) no *cluster* de quatro processadores ARM.

Os resultados dos testes teóricos de desempenho do sistema de geração da rota ótima representam as execuções da versão do programa sequencial em C, usando somente um processador ARM, e as execuções da versão do programa paralelo distribuído no *cluster* de computadores ARM. Os dois tipos de programas foram inicialmente executados para grupos de 8, 16 e 32 cidades alvos respectivamente, tanto na versão sequencial e como na versão paralela distribuída e seus tempos de execução foram computados para comparação do ganho de desempenho entre a plataforma com um processador e o *cluster* piloto com quatro processadores. Os resultados são apresentados no Quadro 3.

**Quadro 3 – Quadro comparativo dos testes de desempenho.**

Número de cidades	Tempo da versão sequencial	Tempo da versão distribuída
8	0,051657	0,009595
	0,056828	0,011610
	0,047798	0,010420
	0,045715	0,009922
	0,054542	0,012522
16	0,041020	0,015626
	0,049509	0,019495
	0,049609	0,017042
	0,055951	0,014902
	0,054675	0,019026
32	0,067386	0,030804
	0,067805	0,036478
	0,059248	0,039830
	0,068959	0,035084
	0,060771	0,031529

O ganho de desempenho na execução paralela distribuída aponta para o uso do *cluster* e dos programas paralelos distribuídos não só na tarefa de descoberta de distâncias e rotas ótimas, mas também nas demais tarefas que o dirigível-robô venha a desempenhar. Além disso, o *cluster* é uma plataforma escalável simples e robusta e pode ser segmentado para executar mais de uma tarefa ao mesmo tempo e de maneira paralela distribuída. O uso de ferramentas e técnicas HPC (*high performance computing*) normalmente presentes nos compiladores dos *clusters* pode aumentar ainda mais o ganho de desempenho dos programas executados nestas plataformas, o que aumenta ainda mais sua aplicabilidade.

## 5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho é apresentada a proposta para construção de um veículo aéreo robótico autônomo (VANT) com controle de rotas executado em um *cluster* embarcado de computadores e um novo conjunto de regras de evasão de colisões com objetos. O uso de LIDAR, como o sensor e coletor de dados de possíveis colisões, foi devido a suas reduzidas dimensões e baixo consumo de energia, conforme descritos em LIDAR USA (2013) e em Texas Instruments (2013), além do seu uso comprovado na detecção de objetos.

O dirigível pode ainda proporcionar um *layout* flexível para que a incorporação dos mais diversos sensores e equipamentos possa ser efetuada sem dificuldades, proporcionando grande flexibilidade de uso desta plataforma. Seguindo esta filosofia podem-se citar as seguintes possíveis aplicações do VANT ora proposto: vigilância (urbana, ambiental, etc...), coleta automática de dados, busca e resgate, transporte de bens, patrulha marítima de longo alcance, minagem e contra medidas, sistema aero embarcado de alerta antecipado, etc.

Neste trabalho as simulações das regras de evasão conseguiram evitar as colisões em todos os cenários de teste mostrando a eficácia das novas regras. Os resultados dos testes teóricos de desempenho dos programas de descobertas de distâncias entre alvos e da geração da rota ótima para alcançar todos os alvos, demonstraram um melhor desempenho da versão distribuída em todos os cenários. A construção rápida e sem grandes dificuldades do protótipo do *cluster* embarcado, suas dimensões reduzidas, pequeno peso e reduzido consumo de energia (45 watts) demonstrou a viabilidade do uso desta plataforma no controle do dirigível autônomo proposto.

A plataforma proposta encontra-se em desenvolvimento junto com os parceiros do projeto, onde as seguintes tarefas já estão sendo executadas: simulação da dinâmica da aeronave, o desenvolvimento do sistema de controle da mesma, e a construção do *cluster* embarcado de produção - com número expressivo de nós.



## 6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela CNPq and CAPES.

## 7. REFERENCES

- Azinheira, J. R. et al, 2002. "Visual Servo Control for the Hovering of an Outdoor Robotic Airship". Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Washington, DC, pp. 2787-2792.
- Badia, S. B. i, Pyk, P., and Verschure, 2005. "A Biologically Inspired Flight Control System for a Blimp-based UAV". Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3053-3059.
- Becker, D. J., Sterling, T. 1995. Beowulf: "A Parallel Workstation for Scientific Computation". Proceedings of the International Conference on Parallel Processing.
- Clark, D., 2010. "Aviation Q&A: the impact of flying on the environment". Acesso em 22 de janeiro de 2013, disponível em The Guardian: <http://www.guardian.co.uk/environment/2010/apr/06/aviation-q-and-a>
- Committee on Aeronautics Research and Technology for Environmental Compatibility. 2002. "Reducing Environmental Impacts of Aviation". Acesso em 22 de janeiro de 2013, disponível em The National Academies Press: [http://www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=10353&page=R1](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=10353&page=R1)
- Dadkhah, N., Korukanti, V. R., Kong, Z. and Mettler, B. 2009. "Experimental Demonstration of an Online Trajectory Optimization Scheme using Approximate Spatial Value Functions". Proceedings of the 48th IEEE Conference on Decision and Control, 2009, pp. 2978-2983.
- Defense Industry Daily staff. 2007. "Return of the Navy Blimps?" Acesso em 30 de dezembro de 2012, disponível em Defense Industry Daily: <http://www.defenseindustrydaily.com/return-of-the-navy-blimps-03093/>
- Fukao, T., et al 2008. "Inverse Optimal Velocity Field Control of an Outdoor Blimp Robot". Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control, Seoul, Korea , pp. 4374-4379.
- Gammon, S. M., Fryer, M. T. and Qian, C. (2006). "The mathematical model of the tri-turboprop airship for autonomous formation control research". IEEE Region 5 Technical, Professional, and Student Conference, San Antonio, Texas.
- Gomes, S. B. V. et al (s.d.), 2013. "Os dirigíveis e o Brasil: eterna promessa ou caso concreto?" BNDES Setorial 35, 303 – 332.
- González, P., Burgard, W., Sanz, R. and Fernandez, J.L. 2009. "Developing a Low-Cost Autonomous Indoor Blimp". Journal of Physical Agents, pp. VOL. 3, NO. 1, pages 43-51.
- Hardkernel Co., Ltd. 2013. Products. Acesso em 24 de janeiro de 2013, disponível em ODROID: [http://www.hardkernel.com/renewal\\_2011/products/prdt\\_info.php](http://www.hardkernel.com/renewal_2011/products/prdt_info.php).
- Larabel, M., 21 de agosto de 2012. "Quad-Core ODROID-X Battles NVIDIA Tegra 3". Acesso em 24 de janeiro de 2013, disponível em Phoronix: [http://www.phoronix.com/scan.php?page=article&item=samsung\\_odroidx&num=1](http://www.phoronix.com/scan.php?page=article&item=samsung_odroidx&num=1).
- Lidar USA 3D Documentation and Beyond, 15 de dezembro de 2013. "Lidar USA 3D Documentation and Beyond", <http://www.lidarusa.com/page.php?cat=3>, acesso em 7 de julho de 2013.
- Marinha do Brasil – Diretoria de Portos e Costas, Normas e Procedimentos para as Capitânicas – RIPEAM. Acesso em 8 de agosto de 2013. <https://www.dpc.mar.mil.br/sta/ripeam/flipbook/index.html#/2>
- Mettler, B. and Kong, Z., 2008. "Receding Horizon Trajectory Optimization with a Finite-State Value Function Approximation". Proceeding of 2008 American Control Conference , (pp. 3810-3816). Seattle, Washington.
- Newman, S. (1994). "Foundations of Helicopter Flight. Londres", UK: Butterworth Heinemann LTD.
- Ralph, N., 13 de Julho de 2012. "Odroid-x development board brings quad-core Exynos 4 Quad processor to budding Android hackers for \$129". Acesso em 24 de janeiro de 2013, disponível em The Verge: <http://www.theverge.com/2012/7/13/3156032/odroid-x-development-board-exynos-4412-quad>.
- redOrbit Staff & Wire Reports - Your Universe Online., 16 de Julho de 2012. "Miniature Quad-Core Computer For Under \$130". Acesso em 24 de janeiro de 2013, disponível em redOrbit - Your Universe Online: <http://www.redorbit.com/news/technology/1112656695/miniature-quad-core-computer-for-under-130/>.
- Reschke, C., Sterling, T., Ridge, D., 1996. "A Design Study of Alternative Network Topologies for the Beowulf Parallel Workstations". Proceedings of the IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing.
- Rottmann, A., Plagemann, C., Hilgers, P. and Burgard, W., 2007. "Autonomous Blimp Control using Model-free Reinforcement Learning in a Continuous State and Action Space". Proceeding of International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2007. IROS 2007, pp. 1895-1900.
- Saiki, H., Fukao, T., Urakubo, T. and Khno, T., 2010. "Hovering Control of Outdoor Blimp Robots Based on Path Following". Control Applications (CCA), 2010 IEEE International Conference on, pp. 2124-2129.
- Texas Instruments, 2013. "LIDAR System Design for Automotive/Industrial/Military Applications". SIGNAL PATH designer SM. Tips, tricks, and techniques from the analog signal-path experts Texas Instruments, Literature Number: SNAA 123.
- Top 500 Supercomputer sites, 2013. Acesso em 17 de fevereiro de 2013, disponível em "Top 500 Supercomputer sites": <http://www.top500.org/lists/>

- U.S. Department of Homeland Security. 15 de janeiro de 2013. “NAVIGATION RULES ONLINE”. Acesso em 24 de janeiro de 2013, disponível em Navigation Center - The Navigation Center of Excellence: <http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=navRulesContent>
- U.S. Department of Transportation - Federal Aviation Administration. 2012. “Aeronautical Information Manual: Official Guide to Basic Flight Information and ATC Procedures”. Federal Aviation Administration.
- U.S. Department of Transportation - Federal Aviation Administration. 2008. “Plane Sense: General Aviation Information. Federal Aviation Administration”.
- Xiaotao, W. U., Claude, M. and Yueming, H.U. 2009. “Modelling and linear control of a buoyancy-driven airship”. Proceeding of 7th Asian Control Conference, 2009. ASCC 2009, pp. 75-80.
- Yang Y., Wu, J., Zheng, W. 2012. “Adaptive fuzzy sliding mode control for robotic airship with model uncertainty and external disturbance”. Journal of Systems Engineering and Electronics Vol. 23, No. 2, pp. 250-255.

## **9. RESPONSABILIDADE AUTORAL**

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

## A PLATFORM FOR AUTONOMOUS PATH CONTROL OF NON TRIPULATED AIRSHIP

Constantino Gonçalves Ribeiro, constantino.g.r@ufrj.br<sup>1,2</sup>  
Max Suell Dutra, max@mecanica.coppe.ufrj.br<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CEFET-RJ, UnED Itaguaí, Rodovia Mário Covas, lote J2, quadra J – CEP: 23810-000, Distrito Industrial de Itaguaí – RJ - Brasil

<sup>2</sup>Centro de Tecnologia, bloco G, salas 202 / 203 / 204, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Cidade Universitária - Ilha do Fundão, Caixa Postal 68.503, CEP 21945-970, Rio de Janeiro – Brasil

**Abstract.** *The applications of UAV's (Unmanned Aerial Vehicles) are growing up and becoming part of many daily tasks in many organizations. But as matter of fact, the use of a UAV does not mean the decreasing of operational complexities and, consequently, the costs of perform its tasks. Some times this high cost is connected to the dependence of well-trained operators and a huge remote control facilities to operate a sophisticated UAV's. This work proposes an UAV that can perform its tasks as much independent of human interaction as possible, and with a minimum connection to its mission control facilities. This independence will be achieved by embedding the mission control into the UAV. As the mission control is embedded, the UAV will have less connections issues with its control center and will be less dependable of human interaction. This work proposes a light than air vehicle – a blimp – and an embedded parallel distributed compute, and new procedures to resolve navigations and collision evasions issues during the mission. The use of a blimp will guarantee a long endurance mission time, a stable platform, and reasonable payload, to perform missions like: surveillance, urban patrolling, environment surveys, search and rescue and many others long range and continuous task.*

**Keywords:** *UAV, blimp, RIPEAM72 navigations rules, embedded system, parallel /distributed system*