

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Núcleo de Computação Eletrônica

Marcelo Rezende Manhães da Silva

**AIRCRAFT DATA NETWORKS:  
A Evolução da Rede de Dados em Aeronaves Civis**

Moacyr Henrique Cruz de Azevedo, M.Sc., UFRJ, Brasil

Rio de Janeiro

2010

**Marcelo Rezende Manhães da Silva**

**AIRCRAFT DATA NETWORKS:  
A Evolução da Rede de Dados em Aeronaves Civis**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro - NCE/UFRJ.

Moacyr Henrique Cruz de Azevedo, M.Sc., UFRJ, Brasil

Rio de Janeiro

2010

**Marcelo Rezende Manhães da Silva**

**AIRCRAFT DATA NETWORKS:  
A Evolução da Rede de Dados em Aeronaves Civis**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro - NCE/UFRJ.

Aprovada em setembro de 2010.

Moacyr Henrique Cruz de Azevedo, M.Sc., UFRJ, Brasil

Dedico este trabalho a todos os alunos do Programa M.O.T. C.N. do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer à minha família e a meus colegas da INFRAERO, pela compreensão que tiveram comigo nos momentos de minha ausência quando das execuções dos projetos relacionados às atividades profissionais.

## RESUMO

SILVA, Marcelo Rezende Manhães de. **AIRCRAFT DATA NETWORKS: A Evolução da Rede de Dados em Aeronaves Civis**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

Vários sistemas e equipamentos eletrônicos integram a rede de dados de uma aeronave moderna. Tais equipamentos comumente conhecidos de aviônicos e suas aplicações integradas necessitam trocar informações em tempo real entre si, garantindo o pleno funcionamento do ambiente de bordo. Este trabalho visa abordar um dos principais protocolos desta rede, o AFDX, que foi originado a partir IEEE 802.3 e se tornou padrão da indústria.

## ABSTRACT

SILVA, Marcelo Rezende Manhães de. **AIRCRAFT DATA NETWORKS: A Evolução da Rede de Dados em Aeronaves Civis**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

Several systems and electronic equipment, integrate data from a network of modern aircraft. Such equipment commonly known for its applications and integrated avionics, need real-time exchange information among themselves, ensuring full functioning of the environment on board. This work about one of the main protocols of the network, the AFDX, which originated from IEEE 802.3 and became the industry standard.

## **LISTA DE FIGURAS**

	Página
Figura 1 - Exemplo de interligação com o protocolo ARINC 429 .....	11
Figura 2 - Subsistema e estrutura de um AFDX end system .....	13
Figura 3 - Frame Ethernet / Payload AFDX.....	14
Figura 4 - ESU.....	16
Figura 5 - Exemplo de Virtual Links – VL .....	17
Figura 6 - Exemplo de comunicação através de Virtual Links.....	18
Figura 7 - Bandwidth Allocation Gap .....	19
Figura 8 - Bandwidth Allocation Gap .....	19
Figura 9 - Exemplo de comunicação através de Virtual Links.....	20
Figura 10 - Esquema de Interligação de tolerância à falhas .....	21
Figura 11 - Fluxo de transmissão de dados .....	22
Figura 12 - Fluxo de transmissão de dados (cont.) .....	23
Figura 13 - Monitores individuais de entretenimento.....	27
Figura 14 - Tipo de console de aplicação ao entretenimento .....	27
Figura 15 - Flight Deck do A380 e seus aviônicos .....	28

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

3GCN	3rd. Generation Cabin Network
AEEC	American Environmental and Engineering Consultants
ARINC	Aeronautical Radio Inc.
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AVIÔNICO	Equipamento eletrônico destinado a aviação
BAG	Bandwidth Allocation Gap
BER	Bit Error Rate
CBR	Costant Bit Rate
ESU	Ethernet Switch Unit
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFE	Inflight Entretainment
IMA	Integrated Modular Avionics
QoS	Quality of Service
UDP	User Datagram Protocol
VL	Virtual Link
VLID	Virtual Link Identification
WAEA	World Airline Entretainment Association
WIRED	Tecnologia de transmissão e recepção de dados em redes cabeadas
WIRELESS	Tecnologia de transmissão e recepção de dados em redes sem fio

## SUMÁRIO

	Página
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	11
<b>2. SWITCHED ETHERNET</b>	12
2.1. HARDWARE ETHERNET SWITCH UNIT – ESU	14
<b>3. VIRTUAL LINK</b>	17
<b>4. GARANTIA DE BANDA</b>	19
<b>5. REDUNDÂNCIA</b>	21
<b>6. FLUXO DE DADOS</b>	22
<b>7. APLICAÇÕES OPERACIONAIS E COMERCIAIS</b>	25
<b>8. PADRONIZAÇÃO DE ENDEREÇAMENTO IP</b>	26
<b>9. CONCLUSÃO</b>	29
<b>10. REFERÊNCIAS</b>	30

## 1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 90 o interesse da comunidade da aviação civil Internacional pelas tecnologias de rede de computadores existentes direcionaram para o surgimento da ADN – Aircraft Data Network, sob os estudos de um grupo de trabalho da ARINC que estabelece a adoção de diretrizes e normas, regulamentando as padronizações relacionadas a rede de dados de uma aeronave.

Sistemas tradicionais utilizados no segmento da aviação se interconectam através de barramentos com comunicação half-duplex, oferecendo taxas de transmissão próximas de 10Kbps ou 100Kbps. Por ser um barramento utilizado no conceito ponto-a-ponto, comunicação simplex, há necessidade de um transmissor estar diretamente interligado a um receptor e vice-versa, por um fio dedicado.

A ARINC registrou o protocolo que define esta comunicação, denominando-o ARINC 429, desenvolvido no início da década de 70, e tendo sido utilizado em larga escala pela indústria de aviônicos. Presente na maioria destes dispositivos eletrônicos, este protocolo está inserido nos cockpits dos aviões dos grandes fabricantes, entre eles: Boeing, Cessna, Airbus e Embraer.

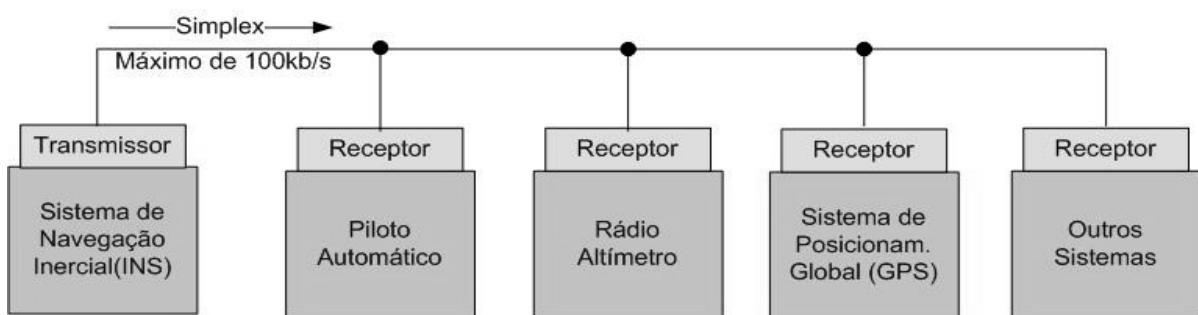


Figura 1 - Exemplo de interligação com o protocolo ARINC 429

## 2. SWITCHED ETHERNET

A crescente competitividade no setor aeronáutico fez aumentar a demanda por projetos que acomodem mais carga e passageiros a bordo das aeronaves, projetos aliados à procedimentos e sistemas que tragam redução nos custos de operação e manutenção. Equipamentos que visam segurança e entretenimento introduzidos por aplicações e recursos multimídia estão cada vez mais presentes no vôo, gerando mais conforto e comodidade aos seus passageiros. Este alto tráfego de dados em quantidade ascendente necessita ser trocado entre os computadores e dispositivos, de forma que os tradicionais barramentos não conseguem mais atender a estas expectativas.

Por vários anos os aviônicos eram projetados em caixas eletrônicas de modo a atender a uma função específica definida. Ou seja, para uma determinada função de controle um equipamento físico estaria associado. Pensando na integração dos sistemas, com re-estruturação do lay-out do cockpit, a indústria está migrando o ambiente do sistema de controle para o conceito de aviônico modular integrado ou IMA, onde a associação destes sistemas geram interfaces gráficas amigáveis e com dados mais precisos para os pilotos. Assim como a tripulação, a equipe de manutenção em terra necessita de acesso aos logs de falhas e status geral de todos os subsistemas da aeronave em tempo real, para garantir a “saúde” operacional do aparelho.

Para substituir os estreitos barramentos, a evolução natural encontrada foi projetar uma rede de topologia denominada switched ethernet, ou AFDX , que foi concebida a partir do protocolo IEEE 802.3 e conceitos presentes nas redes ATM, tornando-se uma rede determinística com garantia de banda dedicada e qualidade de serviço.

Estas características próprias e funcionalidades foram introduzidas pela norma ARINC 664 parte 7. O AFDX se tornou formalmente padrão em 27/06/2005 pela ARINC e AEEC como protocolo de aplicações de tempo real em mídia Ethernet.

A rede AFDX consiste dos chamados *end systems* e *switches*. Um *end system* é um componente conectado à rede capaz de suportar todas as operações relacionadas com o protocolo. Normalmente um *end system* é uma parte de um aviônico ou um subsistema de uma aeronave que necessita enviar ou receber dados, para desencadear um procedimento que seja elétrico, eletrônico, mecânico ou etc. Para interligar estes sistemas um ou mais *switches AFDX*, dependendo da hierarquia da rede, estão localizados entre os *end systems*.

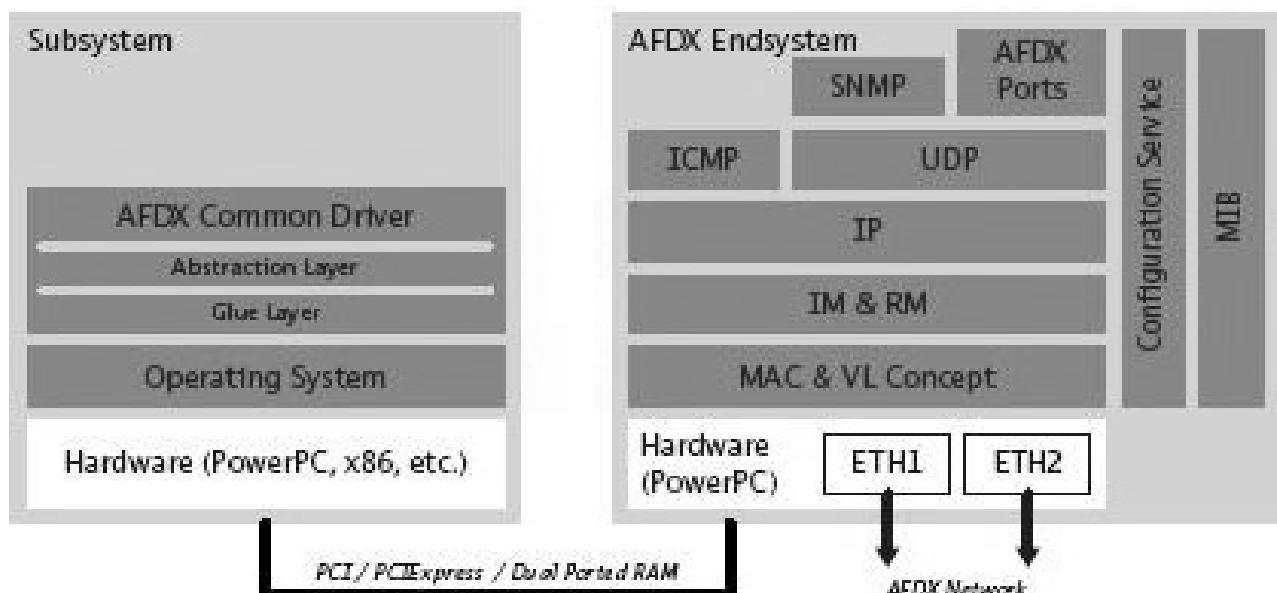


Figura 2 - Subsistema e estrutura de um AFDX end system

Uma vez que as aplicações escrevem mensagens para encaminhamento nas portas AFDX, é através dos frames ethernet que a troca destes dados é possibilitada.

Dados que mais comumente são transportados pelo protocolo UDP. A figura 3 ilustra o frame ethernet com as associações para a rede AFDX.

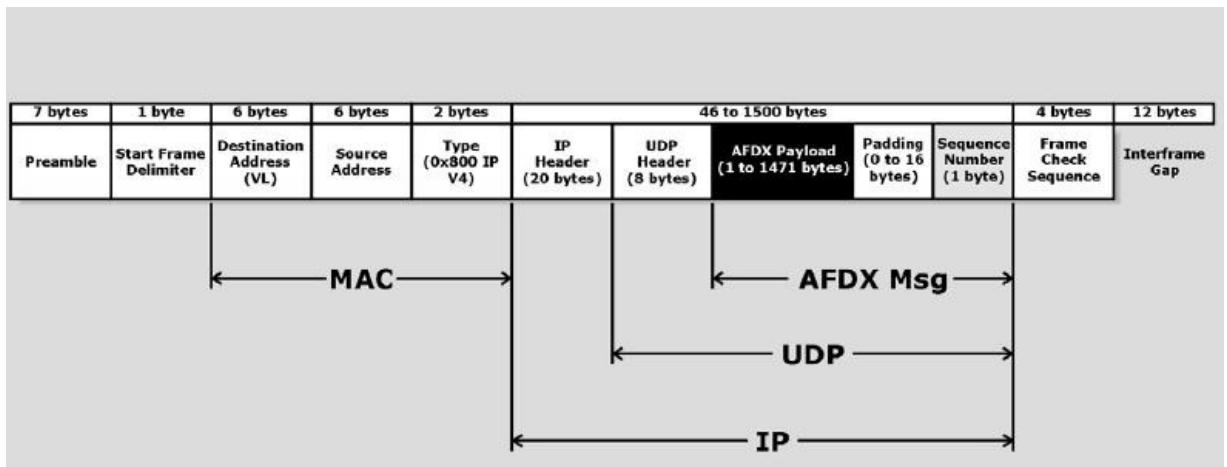


Figura 3 - Frame Ethernet / Payload AFDX

## 2.1. HARDWARE ETHERNET SWITCH UNIT – ESU

Como forma de ilustar o ambiente, menciono neste estudo que o hardware de camada 2 utilizado é denominado *ESU*, que é basicamente um switch gerenciável que tem gabinete padrão para aviônico compacto. Protocolos Fast Ethernet e Gigabit Ethernet são suportados. Gigabit Ethernet para utilização de uma conexão com o servidor permite a largura suficiente para todos os nós da rede, garantindo serviços inteligentes para dados tradicionais, vídeo e serviços de voz.

Priorização de tráfego, limitação de taxa e filtragem de segurança também ajudam na baixa latência, integridade de dados e desempenho de uma rede determinística. Aproveitando as vantagens das normas em questão que estão sendo abordadas neste trabalho (baseadas em tecnologia de comutação com recursos avançados de

QoS e serviços de segurança mais recentes) auxilia para produzir uma alta disponibilidade a bordo, tendo menos interrupções.

Ferramentas de gestão estão presentes e facilitam a equipe de TI das empresas de aviação a configurar recursos, monitorar desempenho e problemas apresentados por um dos equipamentos a partir de qualquer browser padrão web. Isso pode ser realizado remotamente usando os protocolos SSH e SNMP.

Abaixo algumas das principais funcionalidades presentes na maioria destes equipamentos que, há muito tempo, são nativos em equipamentos dos grandes *players* de mercado:

- SNMP para configurar remotamente e controlar a "saúde" da rede
  - Suporte ao SNMP v1, v2 e v3;
  - Estatísticas de Ethernet e RMON;
  - *Traps* SNMP para o relatório sobre eventos;
  - SNMPv3 para a segurança de autenticação e criptografia.
- Prioridade do tráfego para a operação em tempo real
  - *Quality of Service* (QoS);
  - Classe de serviço (CoS);
  - Tipo de serviço (ToS) e DiffServ.
- Filtragem de *multicast*
  - IGMP v1 e v2 suportado;
  - *Snooping* e consulta de modos.
- *Browser Web* configurável, Secure Shell (SSH) e interfaces de terminal RS232.
- Segurança
  - Credenciais para acesso e proteção ao sistema;

- SSL para interface web segura (https);
- SNMPv3 autenticando e criptografando mensagens SNMP;
- Secure Shell (SSH) para encriptação de comandos;
- ACL - Opções para restringir o acesso.
- Espelhamento de portas para diagnóstico.
- VLAN para separar em domínios os equipamentos da rede.



Figura 4 – ESU

### 3. VIRTUAL LINK

No protocolo ARINC 429 uma conexão era efetuada entre o emissor e receptor através de uma linha dedicada garantindo a entrega e banda, portanto QoS=100%. A comunicação se dava de forma simplex e na maioria das vezes não era utilizada o tempo todo. Características utilizadas nas redes ATM foram introduzidas ao protocolo AFDX, garantindo baixa latência e largura de banda necessárias aos diferentes níveis de criticidade dos sistemas envolvidos. Atendendo a estas requisições, foi inserido o conceito de Links Virtuais – VL – que constituem canais de comunicações usados para transferência de dados entre dois *end systems*. As conexões ponto-a-ponto e ponto-multi-ponto são realizadas através de canais lógicos, onde cada conexão lógica é representada por um VL, que dispõe de uma identificação denominada VLID, possibilitando a transferência de dados distintos a diferentes receptores em canais separados, entretanto compartilhando o meio físico na banda de 100Mbps.

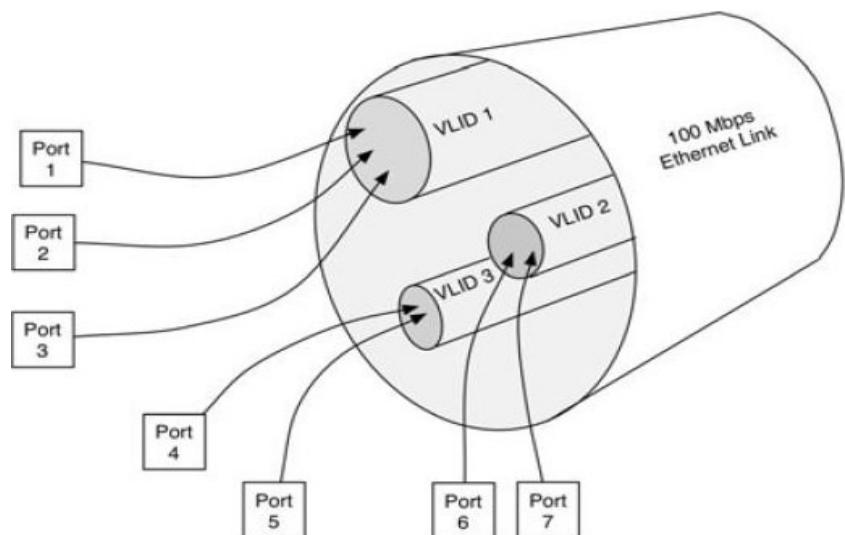


Figura 5 - Exemplo de Virtual Links – VL

A possibilidade de encaminhamento de pacotes para vários destinos foi originada do IEEE 802.3, entretanto somente um *end system* pode enviar dados pelo mesmo VL. Estas características fornecem as mesmas propriedades do seu antecessor ARINC 429, garantindo compatibilidade com o nível de aplicação e reduzindo drasticamente a quantidade de cabos, que eram dedicados na topologia anterior, trazendo a otimização. Especialistas do setor estimam que a adoção desta topologia no projeto do novo Boeing 787 reduzirá em mais que 450 kg o seu peso.

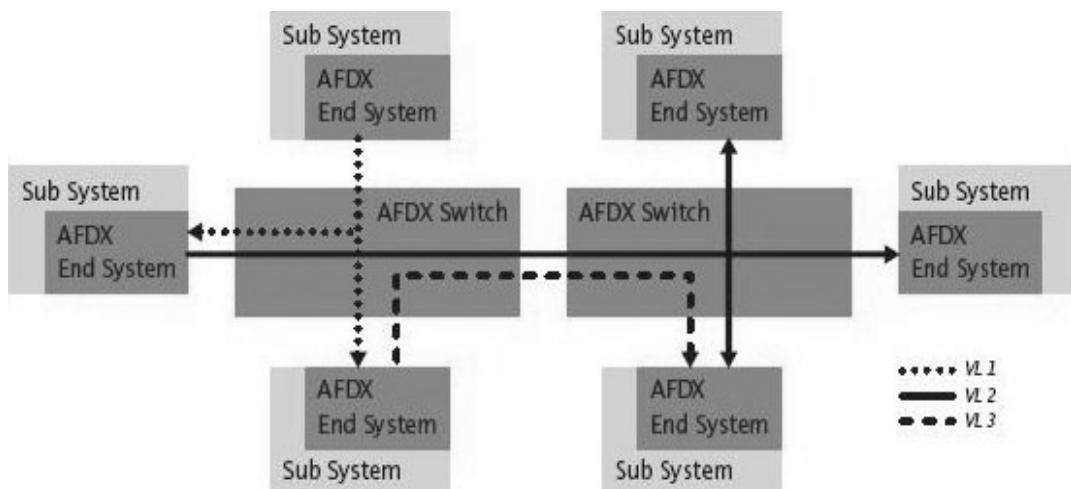


Figura 6 - Exemplo de comunicação através de Virtual Links

#### 4. GARANTIA DE BANDA

Como um aviônico necessita de tráfego em tempo real, cada VL tem associado a ele dois parâmetros: um de fragmentação denominado, *Bandwidth Allocation Gap – BAG*, e outro de tamanho máximo do frame. O BAG associado a cada VL representa um intervalo de tempo preciso em milissegundos entre dois frames ethernet enviados pelo *end system* através do mesmo Virtual Link.

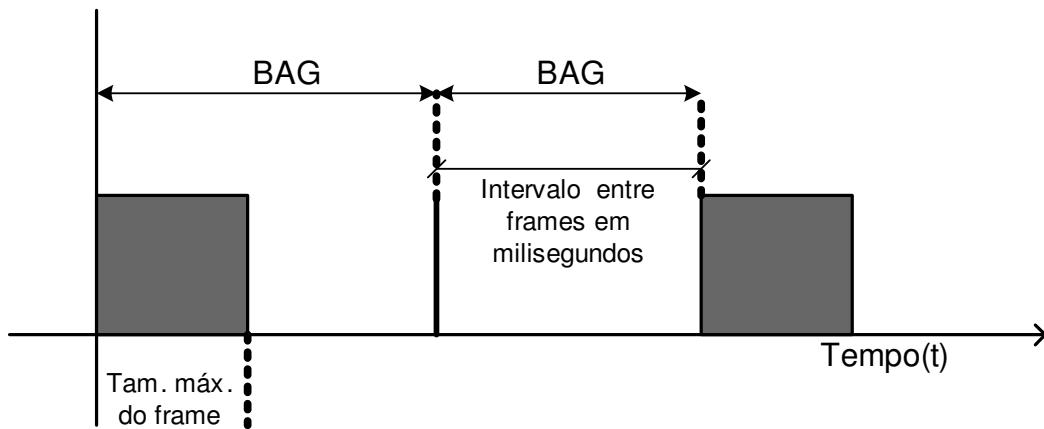


Figura 7 - Bandwidth Allocation Gap

Na figura 8 são demonstrados os valores possíveis que um BAG pode assumir.

BAG em Milissegundos	Hz
1	1000
2	500
4	250
8	125
16	62.5
32	31.25
64	15.625
128	7.8125

Figura 8 - Bandwidth Allocation Gap

Se um VL com VLID1 tem o BAG de 16 milissegundos, então os pacotes neste canal nunca serão enviados mais rápido que 16 milissegundos no VLID1. Por exemplo, utilizando um BAG de 16 mseg., suponhamos que o VL tem um tamanho máximo do frame de 100 Bytes, logo o tamanho da banda alocada para utilização é de 50Kbps ou  $(100 \times 8 \times 10^3 / 16) = 50.000$  bits/s. Em outras palavras, 100 Bytes a cada 16 mseg.

Este mecanismo foi introduzido para receber uma rajada e regular o fluxo de saída de dados de cada VL, diminuindo o Jitter e garantindo assim qualidade de serviço. Controle avançado de filas e tamanho máximo do frame para alocar banda são conceitos herdados das redes determinísticas, pois utilizam o *Constant Bit Rate - CBR* – e, *User Bit Rate – UBR* – com a mesma finalidade.

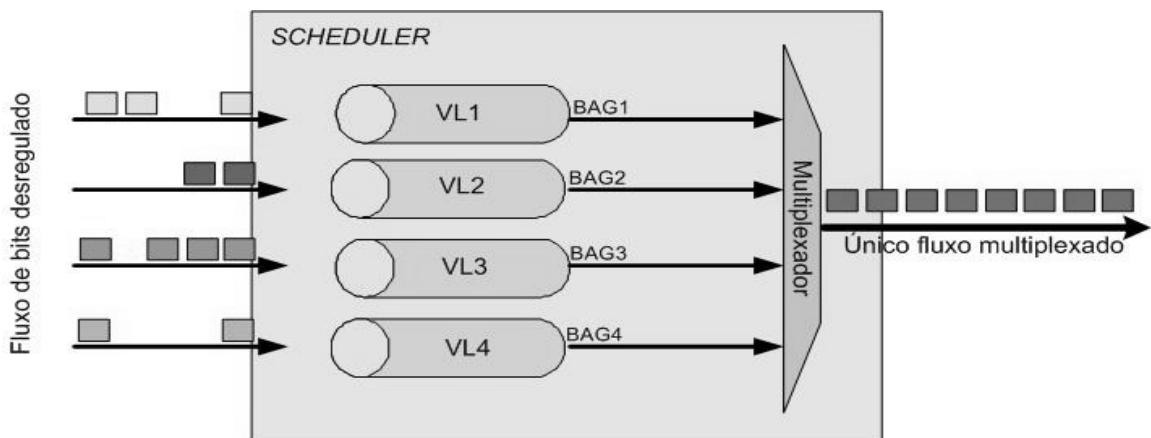


Figura 9 - Exemplo de comunicação através de Virtual Links

## 5. REDUNDÂNCIA

Os aviônicos utilizam conexões redundantes a fim de minimizar a perda de dados, trazendo alta disponibilidade e aumentando a confiabilidade de toda a operação.

Por exemplo, se em um subsistema há funções intrínsecas de controle de vôo, 2 ou três switches são necessários para constituir um ambiente tolerante à falhas. Cada subsistema deve prover dados para ambos os membros da tripulação técnica (piloto e co-piloto) devido à duplidade de instrumentos e controle que esses assentos exigem.

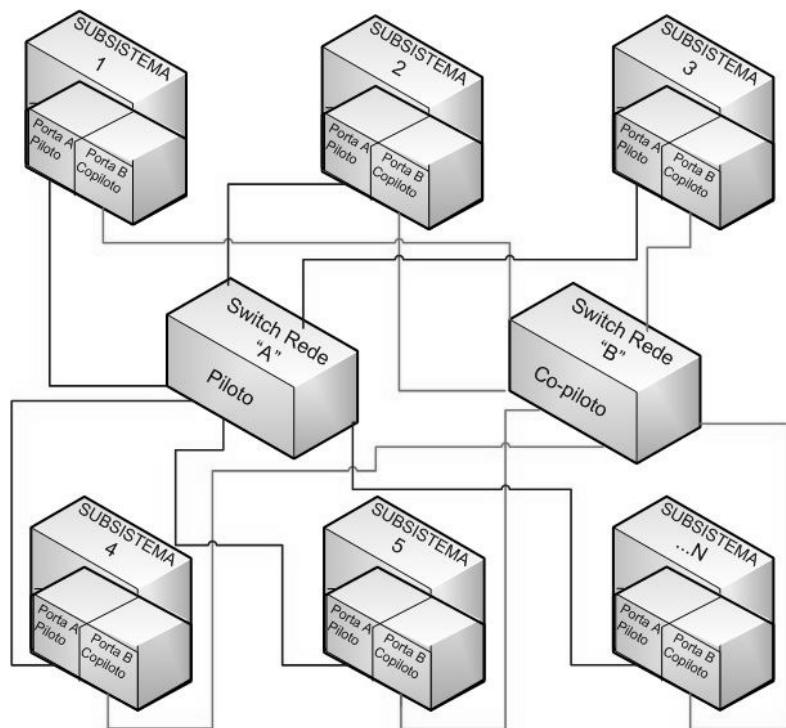


Figura 10 - Esquema de Interligação de tolerância à falhas

## 6. FLUXO DE DADOS

Um sistema emissor envia o mesmo frame por dois caminhos físicos distintos para o mesmo destino. O destino recebe os dois quadros e mantém o primeiro válido a chegar, descartando o outro. A checagem de integridade de cada quadro de dados é efetuada por Virtual Link. Esta verificação de integridade é baseada no número de seqüência presente em cada frame. As figuras 10 e 11 ilustram o procedimento quanto ao fluxo de transmissão de dados a partir das mensagens escritas para a rede AFDX.

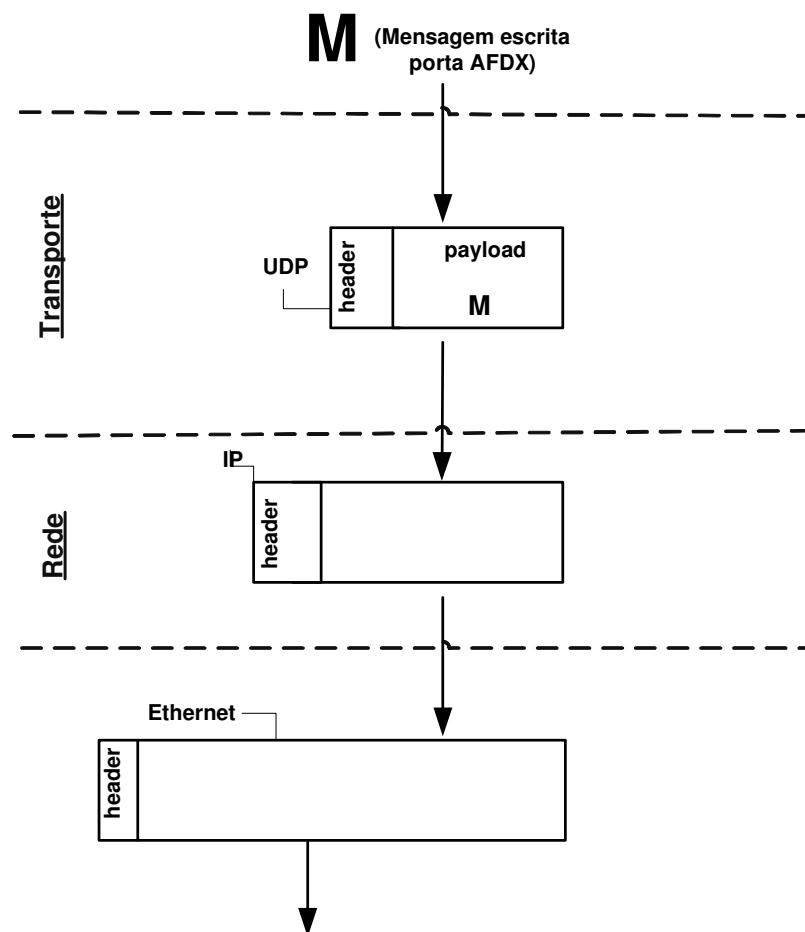


Figura 11 - Fluxo de transmissão de dados

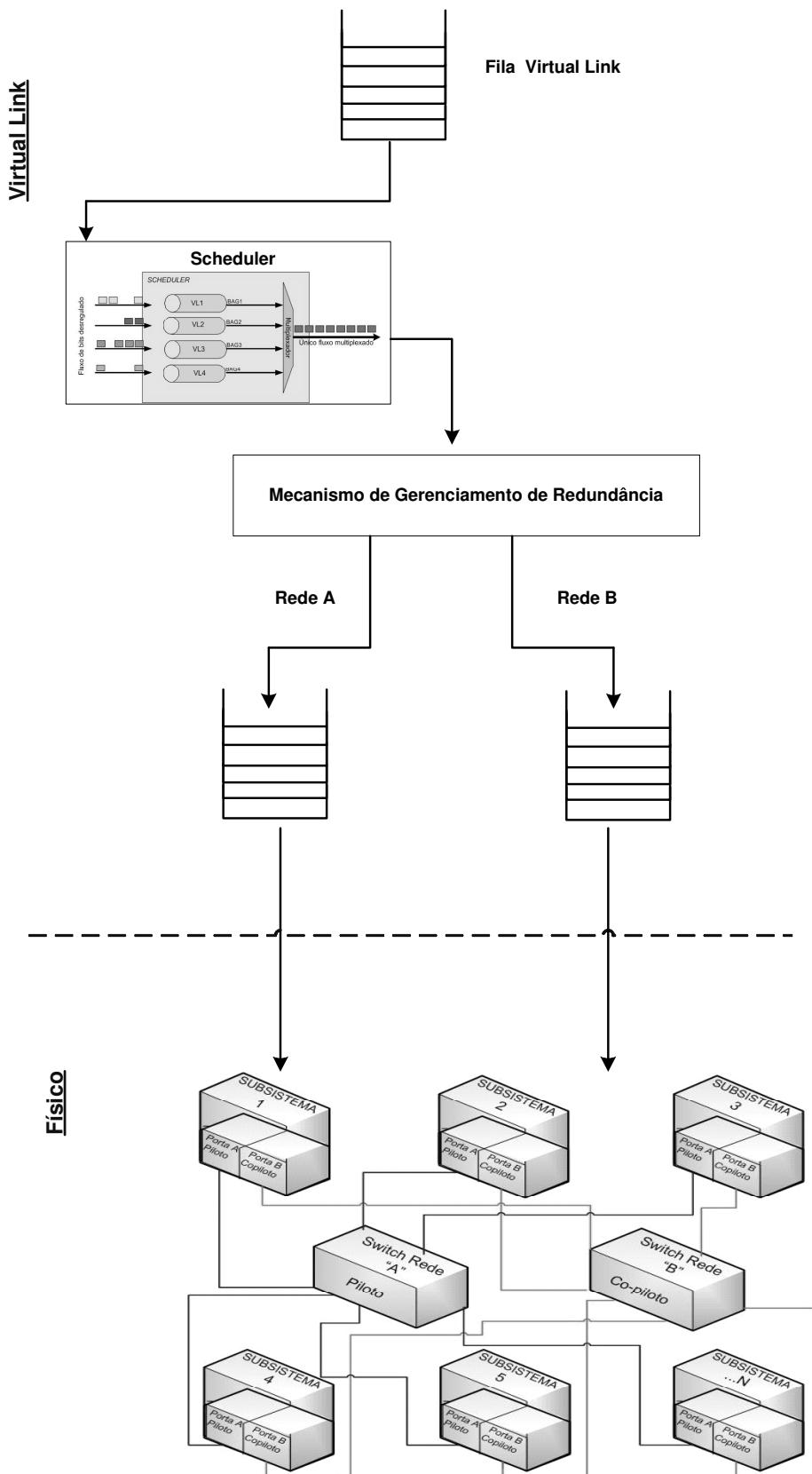


Figura 12 - Fluxo de transmissão de dados (cont.)

O procedimento de recepção segue a mesma sistemática de modo inverso à transmissão. Na camada de Virtual Link, o processo inicia com a recepção do frame ethernet, onde sua integridade é checada pelo Frame Check Sequence (FCS). Não havendo erro, o frame é entregue ao mecanismo de gerenciamento de redundância, que resulta no desencapsulamento do protocolo IP ao nível da camada de rede. O processo segue com a execução da verificação do campo checksum do pacote IP. O segmento UDP na camada de transporte é entregue ao demultiplexador , onde a mensagem é encaminhada à porta de destino.

## 7. APLICAÇÕES OPERACIONAIS E COMERCIAIS

A fim acomodar as demandas de serviços informatizados, a indústria de equipamentos eletrônicos a bordo das aeronaves se esforça em integrar as aplicações visando otimizar todas as fases do vôo através da rede de dados, tendo como principais objetivos:

### Em vôo

- Eletrônica de vôo;
- Cálculos de performance;
- Informações de posicionamento e de navegação aérea;
- Condições meteorológicas em tempo real;
- Registro de falhas;
- Registro de câmeras de segurança; e
- Comunicação, entretenimento e conforto ao passageiro.

### Serviços de equipes em terra

- Registro com arquivamento dos dados da aeronave;
- Reposição de combustível;
- Rastreamento e restituição de bagagem; e
- Alocação de recursos do aeroporto.

### Manutenção

- Manuais técnicos eletrônicos e históricos da aeronave;
- Diagnóstico de falha em manutenção preventiva e corretiva; e
- Registro de dados dos equipamentos da cabine técnica.

## 8. PADRONIZAÇÃO DE ENDEREÇAMENTO IP

Diante destas necessidades, passou-se a adotar a pilha de protocolos TCP/IP para a interconexão destas tarefas de serviços. Novamente a ARINC normatizou e agora como protocolo 664 Parte 4, que define o endereçamento IP em 4 categorias. O subcomitê (Cabin Information Network) responsável pela padronização dos endereçamentos IP nas cabines normatizou:

- *IFE System ou Cabin Distribution Subsystems.* Subrede que provê serviços aos equipamentos de propriedade dos passageiros, visando entretenimento direto que podem ser: notebooks, PDAs etc. Estes hosts possuem conexão wired ou wireless. O Video Game é outro serviço de IFE System que foi atendido a partir da demanda dos clientes (crianças e adolescentes). Vários destes jogos são disponibilizados para utilização em rede, permitindo interação em pleno vôo entre os múltiplos passageiros e objetivando principalmente o “passatempo” em longos trechos.
  - *Faixa de IPv4 : 172.16.0.0 /16*
- *Airplane Systems Integrator.* Subrede para equipamentos de suporte local voltados à configuração, inicialização, carga de dados, mudança de status e impressão.
  - *Faixa de IPv4: 172.17.0.0 /16*
- *Independent Seat Hosts.* Destinada aos dispositivos e facilidades presentes nos assentos e baías dos passageiros como: monitores de vídeo, áudio players, headsets, telefones IP.

Algumas companhias aéreas disponibilizam telefones via satélite integrados aos seus sistemas. Estes são localizados em pontos estratégicos na aeronave ou integrados ao controle remoto disponível ao passageiro em classes mais

elevadas de cabine. Pode-se efetuar o pagamento das tarifas telefônicas através de cartões de crédito e débito para a realização de chamadas ar x terra. Estes sistemas não são capazes de receber ligações, apenas originar.

- Faixa de IPv4: 172.18.0.0 /16



Figura 13 - Monitores individuais de entretenimento

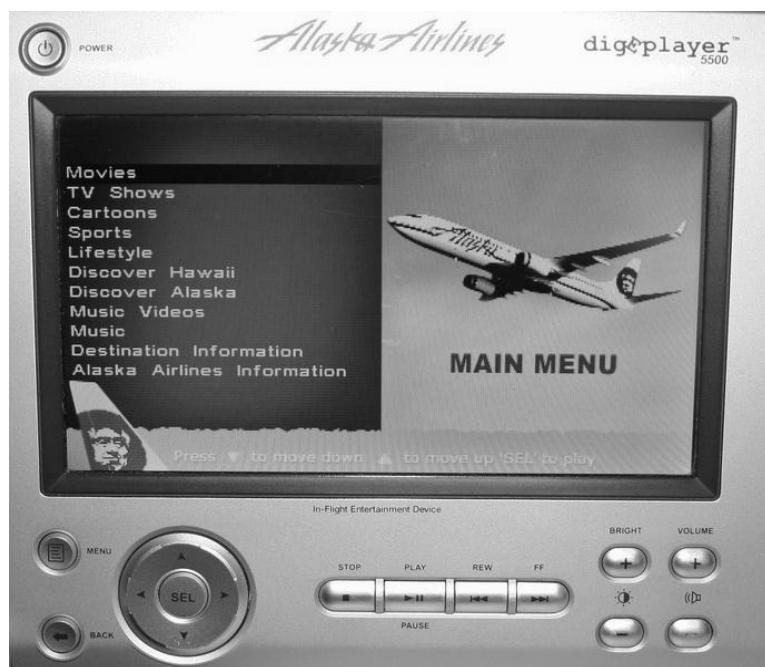


Figura 14 - Tipo de console de aplicação ao entretenimento

- Reservado para futuras demandas.
  - Faixa de IPv4 172.19.0.0/16



Figura 15 - Flight Deck do A380 e seus aviônicos

## 9. CONCLUSÃO

Neste trabalho procurou-se demonstrar a evolução da rede em aeronaves civis e suas características específicas ao tipo de aplicação, sejam referentes aos elementos de tempo real, com a garantia de entrega dos dados no intervalo de tempo conhecido e com tolerância a falhas requeridos pelo sistema de controle de vôo, ou com características voltadas ao conforto, bem estar do cliente passageiro, com possibilidades comerciais.

Apesar dos serviços oferecidos ainda apresentarem algumas deficiências, e a segurança em vôo não estar cem por cento garantida, o comitê normatizador e a indústria de equipamentos tenta saná-las, desenvolvendo competências e buscando introduzi-las, em aspecto global da aviação mundial.

## 10. REFERÊNCIAS

- [1] ARINC-664 - Aircraft Data Network – Part1 **Systems Concepts and Overview**, Draft 5, August 14, 2001
- [2] Aeronautical Radio, Inc ;ARINC-664 - Aircraft Data Network - Part 4 -**Internet-Based Address Structures and Assigned Numbers**, Draft 5. August 20,2001
- [3] Aeronautical Radio, Inc ;ARINC-664 - Aircraft Data Network - Part 7 **Avionics Full-Duplex Switched Ethernet (AFDX) Network**, June 27, 2005
- [4] Aeronautical Radio, Inc ;ARINC 659 - **Backplane Data Bus**, December 27, 1993.
- [5] Aeronautical Radio, Inc ;ARINC 664 -**Cabin Equipment Interfaces**
- [6] CHARARA, Hussein. **Évaluation des performances temps reel de reseaux embarques avioniques**. L`Institut National Polytechnique de Toulouse , France 2007. 119p.
- [7] WLAD,Joseph. **A new generation in aircraft avionics design**. May 2005.  
Disponível em:[http://www.embedded-control-europe.com/c\\_ece\\_knowhow/608/ecemay05p14.pdf](http://www.embedded-control-europe.com/c_ece_knowhow/608/ecemay05p14.pdf) Acesso em 12 set. 2008.
- [8] IEEE **Aerospace and Electronic Systems Magazine**. May 2004
- [9] BOEING COMPANY. **Commercial Airplanes**. Disponível em:  
<http://www.boeing.com/commercial/787family/787-9prod.html> . Acesso em 31 jan. 2009.
- [10] DIGITAL JOURNAL. **In-flight Entertainment Goes High-Tech**. Disponível em:  
[http://www.digitaljournal.com/article/160077/In\\_flight\\_Entertainment\\_Goes\\_High\\_Tech](http://www.digitaljournal.com/article/160077/In_flight_Entertainment_Goes_High_Tech) Acesso em 14 out 2008.
- [11] ETHERNET SWITCH UNIT. **Comercial Aviation Solutions**. Disponível em:  
<http://www.miltope.com/> Acesso em 03/09/2010.