SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito: 10.07.2003

Assinatura: *[assinatura]*

**Um sistema de comunicação para
transmissão de dados a longa distância em
aeronaves do Projeto ARARA**

Daniela de Oliveira Sbizera

Orientador: *Prof. Dr. Onofre Trindade Júnior*

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Computação e Matemática Computacional.

USP – São Carlos
Julho/2003

A Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Onofre Trindade Júnior

Prof. Dr. Edson dos Santos Moreira

Prof. Dr. Aparecido Augusto de Carvalho

*Dedico esse trabalho ao
grande amor da minha vida,
Eduardo Trevizoli Justo.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu namorado e amigo Eduardo que sempre esteve ao meu lado nos momentos de conquista me incentivando a seguir em frente e nos momentos de dificuldade me ajudando a enxergar as lições da vida.

Ao meu pai Iezo por sempre tentar passar um pouquinho de sua vasta e brilhante experiência profissional e pelos ensinamentos de como ser um grande cidadão.

À minha mãe Elizabeth sempre cuidadosa e preocupada quando me via horas e horas na frente do computador.

Às minhas queridas irmãs grandes Karina e Milena que, por buscar uma formação de qualidade como eu, estiveram distantes geograficamente, mas sempre se mantiveram presentes e souberam me confortar com palavras de amizade.

Às minhas irmãs pequenas Luana e Lorena que tão cedo tiveram que aprender o significado da palavra saudade, mas que souberem muito bem aliviar esse sentimento trocando cartinhas e e-mails sempre carinhosos.

Aos amigos Marcela e Vinícius e ao simpático casal Fabiana e Fábio Costa pela gentileza, hospitalidade e apoio nos momentos finais deste trabalho.

À alegre amiga Andressa pela boa companhia em todas as horas e por compartilhar várias barras de chocolate nos momentos de tensão.

Ao meu orientador, professor Onofre Trindade Júnior, pela orientação nesse trabalho.

Ao ICMC pelos recursos e pela grande oportunidade proporcionada.

ÍNDICE ANALÍTICO

ÍNDICE ANALÍTICO	I
LISTA DE FIGURAS	IV
LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE ABREVIATURAS	VII
RESUMO	IX
ABSTRACT	X
1. INTRODUÇÃO	1
UAVS E O PROJETO ARARA	1
1.1. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	4
2.1. PROJETO ARARA	4
2.1.1. Fases do projeto	5
2.1.2. Necessidade de um enlace de rádio	7
2.2. COMUNICAÇÃO DE DADOS POR ONDAS DE RÁDIO DE LONGA DISTÂNCIA	8
2.2.1. Espectro de frequências	8
2.2.2. Como se propagam as ondas de rádio	12
2.3. TÉCNICAS DE MODULAÇÃO	14
2.3.1. Modulação analógica	14
2.3.2. Modulação digital	15
2.4. ESPALHAMENTO ESPECTRAL	17
2.4.1. Direct Sequence	19
2.4.2. Frequency Hopping	20
2.4.3. Comparação entre as técnicas de espalhamento	21
2.5. SISTEMA CELULAR	22
2.6. PRINCIPAIS TÉCNICAS DE ACESSO PARA SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MÓVEL	24
2.6.1. Acesso FDMA (Frequency Division Multiple Access)	24
2.6.2. Acesso TDMA (Time Division Multiple Access)	25
2.6.3. Acesso CDMA (Code Division Multiple Access)	26
2.6.4. Acesso ISMA (Inhibit Sense Multiple Access)	29
2.6.5. Acesso híbrido	30
2.7. PADRÕES EM SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MÓVEL	30
2.8. SISTEMA DE TELEFONIA CELULAR	31

2.8.1. Sistemas celulares analógicos de primeira geração.....	33
2.8.2. Sistemas celulares digitais de segunda geração.....	33
2.8.3. Sistemas celulares de terceira geração.....	36
2.8.4. Telefonia Celular no Brasil.....	37
2.9. SISTEMAS DE PAGING.....	38
2.10. SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MÓVEL VIA SATÉLITE.....	39
2.10.1. Órbitas dos Satélites.....	39
2.10.2. Equipamentos para comunicação por satélite.....	41
2.10.3. Funcionamento de Satélites.....	42
2.10.4. Frequências que ocupam no espectro.....	43
2.10.5. Divisão em canais.....	45
2.10.6. Transmissão de sinais.....	45
2.10.7. Sistemas de comunicação móvel via satélite existentes.....	46
2.10.8. Vantagens e desvantagens da comunicação via satélite.....	55
2.11. COMPARAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO MÓVEL.....	57
2.12. SUMÁRIO.....	58
3. SELEÇÃO DE UM CANAL DE COMUNICAÇÃO PARA AERONAVES DO PROJETO ARARA.....	59
CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	59
3.1. ANÁLISE E SELEÇÃO DAS TECNOLOGIAS APLICÁVEIS.....	60
3.1.1. Área de cobertura.....	60
3.1.2. Peso, tamanho e disponibilidade dos equipamentos.....	60
3.1.3. Custo dos Equipamentos.....	61
3.1.4. Custo dos Serviços.....	61
3.1.5. Potência e consumo de energia.....	61
3.1.6. Taxas de transmissão.....	62
3.2. SATÉLITES DE ÓRBITA BAIXA NO BRASIL.....	62
3.2.1. GlobalStar.....	62
3.2.2. Orbcomm.....	68
3.3. SATÉLITES DE ÓRBITA ALTA NO BRASIL.....	71
3.3.1. Inmarsat.....	71
3.3.2. BrasilSat.....	73
3.4. SUMÁRIO.....	74
4. ANÁLISE DE REQUISITOS E ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA.....	76
CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	76
4.1. REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS.....	76
4.2. REQUISITOS FUNCIONAIS.....	77
4.3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	78
4.3.1. Aeronave.....	80
4.3.2. Estação Base.....	82

4.3.3. Comunicação entre a Estação Base e a Aeronave.....	82
4.4. SUMÁRIO	83
5. PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA	84
CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	84
5.1. CONJUNTO DE FUNÇÕES	84
5.1.1. Configuração das Câmeras de Vídeo.....	87
5.1.2. Calibragem da Bússola.....	88
5.1.3. Calibragem do Altímetro.....	88
5.1.4. Configuração da Câmera Fotográfica.....	89
5.1.5. Solicitação de Imagens	89
5.1.6. Solicitação de Sequências de Vídeo.....	91
5.1.7. Solicitação de Dados de Telemetria.....	93
5.1.8. Solicitação de Plano de Voo	95
5.1.9. Configuração do Plano de Voo.....	96
5.1.10. Abortar Missão	97
5.1.11. Abortar Voo.....	98
5.2. TIPOS E FORMATOS DOS PACOTES	98
5.2.1. Pacotes de dados de Telemetria.....	99
5.2.2. Pacotes com dados de Sequências de Vídeo	102
5.3. INTERFACES DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO	103
5.3.1. Upload.....	103
5.3.2. Download	109
5.4. ALTERNATIVAS PARA COMUNICAÇÃO COM A AERONAVE	111
5.5. SUMÁRIO	112
6. CONCLUSÕES.....	113
CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	113
6.1. CONTRIBUIÇÕES DESTES TRABALHOS.....	114
6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS E CONTINUIDADE DA PESQUISA.....	115
REFERÊNCIAS.....	117
APÊNDICE A. AERONAVE ARARA III.....	121
APÊNDICE B. O SISTEMA DE COMUNICAÇÃO CELULAR GSM E O SERVIÇO GPRS	122
B.1. O SERVIÇO GPRS	122
B.1.1. Requisitos necessários para que um usuário possa usar o GPRS.....	124
B.2. LIMITAÇÕES DO GPRS.....	125
B.3. OS SERVIÇOS EDGE E UMTS	127
GLOSSÁRIO	128

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 - Espectro eletromagnético e seu uso nas comunicações [Tanenbaum, 1996]</i>	10
<i>Figura 2.2 - (a) Ondas VLF, VF e MF (b) Ondas IIF e VIIF [Tanenbaum, 1996]</i>	10
<i>Figura 2.3 - Modos de rádio-propagação</i>	12
<i>Figura 2.4 - Modulação ASK</i>	15
<i>Figura 2.5 - Modulação FSK</i>	16
<i>Figura 2.6 - Modulação PSK</i>	16
<i>Figura 2.7 - Sinal resultante da multiplicação dos sinais</i>	19
<i>Figura 2.8 - Estrutura de células</i>	23
<i>Figura 2.9 - Ilustração da primeira camada de co-células para cluster com $N = 7$</i>	28
<i>Figura 2.10 - Canais nas bandas A e B</i>	37
<i>Figura 2.11 - Classificação dos satélites quanto ao tipo de órbita</i>	40
<i>Figura 2.12 - Link ponto-a-ponto via satélite</i>	43
<i>Figura 2.13 - Link de broadcast via satélite</i>	43
<i>Figura 3.1 - Arquitetura para o serviço Internet GlobalStar [GlobalStar, 2003]</i>	64
<i>Figura 3.2 - Conexão de um PC com um aparelho móvel Globlastar [GlobalStar, 2003]</i>	64
<i>Figura 3.3 - Conexão de um PDA com um aparelho móvel GlobalStar [GlobalStar, 2003]</i>	65
<i>Figura 3.4 - Modem GBR3620 - Conectores [GlobalStar, 2003]</i>	66
<i>Figura 3.5 - Arquitetura do sistema de dados GlobalStar [GlobalStar, 2003]</i>	67
<i>Figura 3.6 - Sistema de transmissão de dados Orbcomm [Orbcomm, 2003]</i>	70
<i>Figura 4.1 - Comunicação entre a Estação Base e a aeronave ARARA</i>	79
<i>Figura 4.2 - Diagrama de blocos da aeronave</i>	80
<i>Figura 5.1 - Esquema de execução de scripts CGI</i>	86
<i>Figura 5.2 - Servidor Web enviando vídeo diretamente para o transdutor [Kurose, 2003]</i>	91
<i>Figura 5.3 - Esquema de conexão utilizando sockets</i>	94
<i>Figura 5.4 - Estrutura do datagrama UDP</i>	100
<i>Figura 5.5 - Header UDP</i>	100
<i>Figura 5.6 - Pacote de Telemetria do Tipo I</i>	101
<i>Figura 5.7 - Pacote de Telemetria do Tipo II</i>	101
<i>Figura 5.8 - Pacote de Telemetria do Tipo III</i>	102
<i>Figura 5.9 - Header RTP</i>	102
<i>Figura 5.10 - Pacote de seqüências de vídeo</i>	103
<i>Figura 5.11 - Interface com as funções de Telecomando</i>	103

<i>Figura 5.12 - Interface para calibrar instrumentos a bordo da aeronave.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 5.13 - Interface para definição de um novo plano de voo.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 5.14 - Interface para interferir na missão</i>	<i>106</i>
<i>Figura 5.15 – Interface com as características do plano de voo solicitado</i>	<i>106</i>
<i>Figura 5.16 - Interface de solicitação de dados de Telemetria.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 5.17 - Interface de solicitação de imagens e sequências de vídeo</i>	<i>108</i>
<i>Figura 5.18 - Interface de monitoramento de dados de Telemetria.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 5.19 - Interface de resposta ao telecomando de solicitação de imagens</i>	<i>110</i>
<i>Figura 5.20 - Estrutura de arquivos para FTP.....</i>	<i>111</i>

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Aspectos gerais de rádio-propagação..... 13

Tabela 2.2 - Sistemas de telefonia celular analógicos 33

Tabela 2.3 - Faixas de frequência e suas características 44

Tabela 2.4 - Sistemas de comunicação móvel via satélite..... 46

Tabela 2.5 - Características de alguns sistemas de comunicação móvel via satélite 52

Tabela 2.6 - Terminais para comunicação móvel via satélite..... 53

Tabela 2.7 - Modems para comunicação móvel via satélite 54

Tabela 2.8 - Vantagens e desvantagens de satélites GEO e LEO 56

Tabela 2.9 - Quadro comparativo das características de cada tecnologia..... 57

Tabela 3.1 - Funções dos conectores [GlobalStar, 2003]..... 66

Tabela 6.1 - Eficiência do canal de comunicação selecionado..... 114

Tabela 6.2 - Especificações e parâmetros de desempenho da aeronave..... 121

LISTA DE ABREVIATURAS

AMPS	<i>Advanced Mobile Phone Service</i>
ARARA	<i>Autonomous and Radio-Assisted Reconnaissance Aircraft</i>
ASK	<i>Amplitude Shift Keying</i>
bps	bits por segundo
BPSK	<i>Binary Phase Key Shifting</i>
CCC	Central de Comutação e Controle
CCIR	Em francês: <i>Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique</i> e em inglês: <i>International Telegraph and Telephone Consultative Committee</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CDPD	<i>Cellular Digital Packet Data</i>
D-AMPS	<i>Digital AMPS</i>
DSI	<i>Digital Speech Interpolation</i>
DS-SS	<i>Direct Sequence - Spread Spectrum</i>
E-AMPS	<i>Extended AMPS</i>
ERB	Estação Rádio Base
ERMES	<i>European Radio Message Service</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standard Institute</i>
FCC	<i>Federal Comission of Communications</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplexing</i>
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
FH-SS	<i>Frequency Hopping - Spread Spectrum</i>
FM	<i>Frequency Modulation</i>
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
GEO	<i>Geostationary Earth Orbit</i>
GMSK	<i>Gaussian Minimum Shift Keying</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Services</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile</i>
HF	<i>High Frequency</i>
HSCSD	<i>High Speed Circuit Switched Data</i>
IMTS	<i>Improved Mobile Telephone Service</i>

ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
ISMA	<i>Inhibit Sense Multiple Access</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
LEO	<i>Low Earth Orbit</i>
LF	<i>Low Frequency</i>
MF	<i>Medium Frequency</i>
MSK	<i>Minimum Shift Keying</i>
PCS	<i>Personal Communication System</i>
PN	<i>Pseudo-Noise</i>
POCSAG	<i>Post Office Code Standard Advisory Group</i>
PSK	<i>Phase Shift Keying</i>
RBDS	<i>Radio Broadcast Data System</i>
RDS	<i>Radio Broadcast Data System</i>
RPV	<i>Remotely Piloted Vehicles</i>
SIM	<i>Subscriber Identification Module</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
TDD	<i>Time Division Duplexing</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TIA	<i>Telecommunications Industry Association</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>
VSAT	<i>Very Small Aperture Terminals</i>
W-CDMA	<i>Wideband CDMA</i>

RESUMO

Veículos aéreos não tripulados (UAVs – *Unmanned Aerial Vehicles*) têm sido projetados para cumprir missões de reconhecimento e transporte. Podem ser controlados do solo ou operar de forma autônoma em missões pré-programadas.

O projeto ARARA – *Autonomous and Radio-Assisted Reconnaissance Aircraft* (Aeronaves de Reconhecimento Assistidas por Rádio e Autônomas), está centrado no desenvolvimento de UAVs para aplicação em agricultura de precisão e monitoramento ecológico, entre outras possibilidades. O projeto está dividido em quatro fases. Cada fase representa um marco na direção do objetivo final que consiste no cumprimento de missões completamente automáticas. Sistemas diferentes são definidos em cada fase com níveis crescentes de complexidade e aplicação.

Este trabalho está inserido na fase III do projeto ARARA. Seu objetivo principal é o desenvolvimento de um sistema de comunicação entre uma aeronave autônoma e uma estação no solo. O sistema de comunicação desenvolvido é baseado em comunicação por satélite, provendo um canal confiável de comunicação de ampla cobertura geográfica para controle e monitoramento da missão realizada pela aeronave. Além de ser capaz de transmitir comandos para intervenção em missões previamente programadas, o sistema também permite o recebimento de imagens e dados dos sensores a bordo da aeronave.

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicles (UAV) have been designed to perform reconnaissance missions and transportation. They can be controlled by a ground control station or can operate in autonomous pre-programmed missions.

The ARARA (Autonomous and Radio-Assisted Reconnaissance Aircraft) project is concerned in developing UAVs to be used in precision agriculture and ecological surveillance, between other applications. The project has four phases. Each phase is a mark toward the final objective that consists in performing completely automatic missions. Different systems are defined in each phase with increasing complexity levels and applications.

This research is inserted in phase III of ARARA project. The main objective is to develop a communication system between an autonomous aircraft and a ground station. The communication system developed is based on satellite communication, providing a reliable channel of a wide geographical coverage to control and monitor missions performed by the aircraft. Besides it can transmit commands to change pre-programmed missions, the system also provides images and data from aircraft on-board sensors.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

UAVs E O PROJETO ARARA

Recentemente, veículos aéreos não tripulados, mais conhecidos como UAVs, têm desempenhado um papel importante em diversas aplicações. Com a miniaturização dos componentes eletrônicos e o incremento do poder de processamento dos computadores, é possível a utilização de UAVs em diversas áreas. Projetos de baixo custo podem realizar tarefas até então possíveis somente com a utilização de aeronaves tripuladas. Os UAVs atuais podem chegar a lugares de difícil acesso como encostas de montanhas e vales, desenvolver velocidades muito altas e ficar suspensos no ar (no caso de helicópteros) para o monitoramento de um incêndio sem colocar em risco a vida de pilotos. No desenvolvimento da tecnologia de aviões, os UAVs têm sido utilizados como ferramentas para proporcionar baixo custo nos testes de novos conceitos aerodinâmicos.

Na área militar, os UAVs são utilizados em missões de reconhecimento e prática de tiro ao alvo, sendo comumente projetados para reutilização, diferentemente dos mísseis que são utilizados uma única vez. Embora os UAVs apresentem um custo relativamente pequeno para aplicações militares, um projeto de UAV pode facilmente chegar à casa de dezenas ou até mesmo centenas de milhares de dólares.

A fotografia aérea e a coleta de dados para monitoramento ambiental têm feito uso intensivo de UAVs e se beneficiado da miniaturização do GPS (*Global Positioning System*), da câmera de vídeo, da câmera fotográfica digital, dos equipamentos de rádio e dos sensores

atmosféricos. Na agricultura, a fotografia aérea tem sido usada como uma ferramenta suplementar na identificação de problemas, como os causados por insetos, fungos e elementos atmosféricos. As fotos são comumente obtidas por satélites, aviões ou torres de filmagem.

O projeto ARARA, em desenvolvimento no ICAD desde 1999, tem como objetivo principal o desenvolvimento de um UAV autônomo para a realização de missões completamente automáticas para utilização na agricultura e no monitoramento ambiental. Os primeiros resultados obtidos por Souza [Souza, 1999] e descritos em sua dissertação de mestrado mostram que esses sistemas podem, de uma maneira simples e com baixo custo, substituir os meios convencionais utilizados até então para a realização deste tipo de missão.

Na fase III, as aeronaves do projeto ARARA possuem operação autônoma e podem voar a longas distâncias. Este trabalho apresenta um sistema de comunicação utilizando um canal confiável baseado em satélites para monitoramento da aeronave a partir de uma estação no solo. O sistema desenvolvido permite a transmissão de comandos para intervenção em missões previamente programadas e para o recebimento de imagens e dados dos sensores a bordo da aeronave.

1.1. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O Capítulo 2 tem como objetivo apresentar os diversos conceitos relacionados com a transmissão de dados via ondas de rádio a longa distância. Nesse mesmo capítulo, também é descrito o projeto ARARA e é explicitada a necessidade de um enlace de dados a longa distância nas aeronaves da fase III deste projeto.

O Capítulo 3 apresenta uma comparação das tecnologias candidatas a serem utilizadas na implementação do sistema de comunicação. Este capítulo apresenta ainda os serviços de transmissão de dados via satélite que são oferecidos no Brasil. A tecnologia de transmissão de dados via satélite foi selecionada por responder mais adequadamente aos requisitos especificados no Capítulo 4.

Além da especificação de requisitos, o Capítulo 4 apresenta e descreve a arquitetura de comunicação proposta bem como todos os componentes de *hardware* e de *software* presentes nela.

As características de projeto e de implementação do sistema de comunicação são detalhadas no Capítulo 5. Neste capítulo, são apresentados todos os pacotes de dados que serão transmitidos e o conjunto de funções que são implementadas no sistema de comunicação. As interfaces para utilização dessas funções também são apresentadas neste capítulo.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões desse trabalho, as contribuições do mesmo para o mercado e para o meio acadêmico além de algumas sugestões de trabalhos futuros.

O Apêndice A mostra as características de uma aeronave do projeto ARARA.

No Apêndice B é descrita com mais detalhes a tecnologia GSM/GPRS, uma possível candidata para uso futuro no sistema quando a área de cobertura tiver sido expandida.

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo são revistos alguns conceitos importantes para o desenvolvimento do sistema proposto no Capítulo 3.

A seção 2.1 introduz o projeto ARARA, suas fases e a necessidade de um enlace de rádio para comunicação com as aeronaves da fase III. Da seção 2.2 à seção 2.10 são apresentados os principais meios de comunicação para transmissão de dados a longa distância via rádio bem como tópicos importantes relacionados à comunicação sem fio. Na seção 2.11 é apresentado um quadro comparativo das tecnologias citadas nas seções anteriores e finalmente na seção 2.12 é apresentado um sumário de todo o capítulo.

2.1. PROJETO ARARA

Veículos aéreos não tripulados (UAVs) também conhecidos como veículos remotamente pilotados (RPAs – *Remotely Piloted Vehicles*), são projetados para missões de reconhecimento, transporte de cargas, comando e controle. Podem ser controlados do solo eletronicamente ou operar de forma autônoma em missões pré-programadas [Del Frate, 1998].

Nas operações em baixa altitude, os UAVs podem ser utilizados no monitoramento de áreas de interesse ambiental (costeiras, florestais, reservas ecológicas, áreas de risco ou sujeitas à poluição etc), fotografias aéreas, procedimentos ligados à segurança em áreas urbanas, controle de tráfego em ruas e estradas, plataformas de captação ou retransmissão de sinais, aplicações

militares [Bueno, 1996], pesquisa do uso da terra, estudos agrícolas, estimativas de colheitas, contagem de gado, caracterização de plantas e animais (população e distribuição geográfica) etc [Elfes, 1998].

Atualmente, muitas dessas aplicações são baseadas nos dados de sensoriamento remoto obtidos através de sensores instalados em balões, dirigíveis, helicópteros, satélites ou aviões tripulados. Estas fontes de informação possuem desvantagens significativas. Balões não são manobráveis e, portanto, não podem ser diretamente controlados. Imagens de satélites para aplicações civis são limitadas em termos de resolução e cobertura temporal. Aviões tripulados apresentam elevados custos de manutenção e operação [Elfes, 1998].

O projeto ARARA está centrado no uso de aeronaves em escala reduzida. Esse projeto envolve a construção de UAVs para monitoramento ecológico, geológico e avaliação de culturas agrícolas, entre outras aplicações. Com a utilização desses UAVs, é possível resolver problemas que passariam despercebidos se fossem examinados ao nível do solo. O projeto ARARA está sendo desenvolvido em parceria com a EMBRAPA-CNPq de São Carlos.

2.1.1. FASES DO PROJETO

O projeto ARARA está dividido em quatro fases. Cada fase representa um marco na direção do objetivo final do projeto que consiste no desenvolvimento de aplicações automáticas como, por exemplo, a inspeção de linhas de transmissão de energia elétrica e a contagem de animais em uma fazenda. Sistemas são definidos em cada etapa do projeto com níveis crescentes de complexidade e aplicação.

Na fase I, a aeronave é baseada em componentes convencionais utilizados em aeromodelos. O controle de voo é feito a partir do solo em um raio de até 1 Km. Existe uma câmera fotográfica a bordo (digital ou convencional) que pode ser disparada por um sinal de rádio enviado através de um equipamento de rádio-controle. Esse equipamento também é utilizado para controlar o aeromodelo. Diversos parâmetros e condições de voo foram determinados experimentalmente para a obtenção de imagens com qualidade aceitável para as aplicações previstas. Este tipo de sistema é adequado para aplicações onde o voo da aeronave pode ser controlado do solo (pilotagem remota, com visão direta da aeronave). É possível a instalação de uma câmera de vídeo para o monitoramento em tempo real ou o melhor posicionamento da aeronave sobre a área de interesse na obtenção das fotografias. A fase I do

projeto já foi completada [Souza, 1999]. Um sistema desse tipo possui o menor custo entre todos os sistemas definidos no projeto ARARA.

Também já concluída [Ribeiro, 1999], a fase II é baseada em aeronaves projetadas especificamente para o projeto ARARA. Essas aeronaves incluem a instrumentação de bordo necessária para permitir o voo sem a necessidade de acompanhamento visual, embora ainda controlada via rádio a partir de uma estação em solo. Entre os instrumentos disponíveis estão receptor GPS, bússola, altímetro, horizonte artificial, instrumentos do motor etc. A estação em solo é baseada em um microcomputador. O painel de controle do sistema é semelhante ao de um simulador de voo, onde aparecem o painel da aeronave e a imagem vista pelo piloto. Essa imagem é captada por uma câmera a bordo e transmitida para o microcomputador em solo. Os instrumentos visualizados no computador são completamente funcionais, recebendo dados enviados pelos sensores a bordo da aeronave através de um *modem* acoplado no canal de áudio de um transmissor analógico de vídeo. Esta configuração permite vôos além do alcance visual do piloto e controle de rota e altitude do voo. Uma vez que a área designada está sob visada da câmera apontada para baixo, o piloto pode disparar uma câmera fotográfica a bordo ou acionar um gravador de vídeo no solo. O raio de alcance para as aeronaves desta fase é ao redor de 10 Km.

Na fase III, em desenvolvimento, utiliza-se o mesmo tipo de aeronave da fase II com a adição de um sistema de navegação e controle de missão e um sistema de piloto automático. O voo nesse caso é autônomo e as aeronaves devem ser capazes de realizar missões de forma completamente automática com a mínima intervenção humana possível. O usuário pode programar a rota de voo da aeronave e as tarefas necessárias para cumprir a meta de uma missão, tais como, fotografar ou filmar uma área pré-definida. Pode ainda interferir na missão, caso deseje captar imagens não programadas previamente ou abortar a missão. É nesta fase em que este trabalho está inserido.

A fase IV utiliza os sistemas desenvolvidos na fase III para a realização de missões complexas de forma totalmente automática. Nesta fase, são necessários computadores mais potentes a bordo para a execução de missões que envolvem a tomada de decisões baseadas no processamento das imagens obtidas. Deverá permitir uma variedade de tarefas de monitoramento totalmente autônomas como a inspeção de linhas de transmissão de energia com a finalidade de

localizar possíveis falhas, a contagem de animais em uma determinada área ou a localização de áreas sujeitas a desmatamento.

2.1.2. NECESSIDADE DE UM ENLACE DE RÁDIO

Para permitir que as aeronaves da fase III possam realizar vôos autônomos com um raio de ação de várias centenas de quilômetros, deve existir um canal de enlace de dados entre a estação de monitoramento e controle da missão em solo e as aeronaves.

As funções principais do enlace de dados são:

- Coleta de informações dos sensores (incluindo os de imagem), instalados a bordo da aeronave;
- Mudança da missão previamente programada, incluindo seu término prematuro;
- Localização da aeronave no caso de acidentes ou término prematuro da missão.

Uma das características mais importantes deste canal de enlace de dados é uma ampla cobertura geográfica. As aeronaves devem operar em diversas regiões geográficas e a distância da estação em solo torna difícil a realização de um enlace de dados ponto a ponto devido à possível existência de obstáculos físicos no caminho seguido pelas ondas de rádio. Outra característica importante é a necessidade de baixa potência de transmissão. Uma aeronave em escala reduzida apresenta restrições em relação ao peso das baterias e equipamentos instalados a bordo.

Por outro lado, não existe um requisito estrito na velocidade de transmissão do canal de comunicação. Os dados de telemetria e as funções de telecomando exigem taxas de transmissão reduzidas. Apesar de desejável, não existe a necessidade de transmissão de seqüências de vídeo e a transmissão de imagens fotográficas pode ser feita de forma gradual e com resoluções variadas.

Por serem autônomas, as aeronaves da fase III devem ser capazes de completar a missão pré-programada sem a necessidade de novas instruções. Neste sentido, a confiabilidade do canal de comunicação não é um requisito essencial, embora seja desejável que a aeronave não perca o contato com a estação de monitoramento e controle por períodos de tempo muito longos.

Feitas as considerações anteriores, procura-se nas próximas seções descrever algumas tecnologias adequadas para uso na implementação no canal de enlace de dados descrito. Outros fatores devem ser levados em consideração na seleção da tecnologia a ser adotada como o custo do sistema, sua disponibilidade, o peso dos equipamentos e o seu consumo de energia.

2.2. COMUNICAÇÃO DE DADOS POR ONDAS DE RÁDIO DE LONGA DISTÂNCIA

A transmissão sem fio e a comunicação digital tiveram início no Havaí onde os usuários ficavam separados por ilhas e o sistema de telefonia era inadequado. O primeiro sistema de computador a utilizar rádio no lugar de ligações ponto a ponto com cabos foi o sistema Aloha da Universidade do Havaí em 1971 [Tanenbaum, 1996]. Sendo assim, o Aloha é o ancestral de todos os sistemas de difusão por rádio.

As ondas de rádio são relativamente fáceis de gerar, podem percorrer longas distâncias e são largamente utilizadas na comunicação tanto em interiores como em espaço aberto. As ondas de rádio são omnidirecionais, isto é, podem trafegar em todas as direções a partir da fonte, sendo que o transmissor e o receptor não precisam estar cuidadosamente alinhados fisicamente.

As propriedades das ondas de rádio dependem da frequência. Em frequências baixas as ondas de rádio atravessam bem os obstáculos, mas a potência cai rapidamente com o aumento da distância entre o transmissor e o receptor. Em frequências altas, as ondas de rádio tendem a percorrer linhas retas e são refletidas por obstáculos. Também são absorvidas pela chuva. Em todas as frequências, as ondas de rádio estão sujeitas a interferências de motores e outros equipamentos elétricos. Existe também a interferência entre usuários e por essa razão, na maioria das faixas de frequência, é necessário possuir uma licença do governo para o uso de transmissores de rádio.

2.2.1. ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS

Quando os elétrons se movem, eles criam ondas eletromagnéticas que podem propagar-se pelo espaço (mesmo no vácuo). Essas ondas foram descobertas pelo físico britânico James Clerk Maxwell em 1865 e produzidas pelo físico alemão Heinrich Hertz em 1887. O número de oscilações por segundo de uma onda eletromagnética é chamado frequência (f) e é medido em Hz, (em homenagem a Heinrich Hertz). A distância entre dois pontos máximos consecutivos da

onda (ou mínimos) é chamada de comprimento de onda, que é expresso universalmente pela letra grega λ (lambda).

Anexando uma antena de tamanho apropriado a um circuito elétrico, as ondas eletromagnéticas podem ser transmitidas eficientemente e recebidas por um receptor localizado a alguma distância. Todas as comunicações sem fio são baseadas nesse princípio [Tanenbaum, 1996].

No vácuo, todas as ondas eletromagnéticas se propagam na mesma velocidade, independente da sua frequência. Essa velocidade, usualmente chamada velocidade da luz (c), é aproximadamente 3×10^8 m/seg. No cobre ou na fibra óptica, a velocidade decresce para aproximadamente $2/3$ desse valor e torna-se ligeiramente dependente da frequência [Tanenbaum, 1996].

A relação fundamental entre f , λ e c (no vácuo) é:

$$\lambda f = c \quad \text{Equação 1}$$

Na Equação 1, conhecendo o valor de f , é possível encontrar λ e vice versa. Por exemplo, ondas de 1 MHz têm aproximadamente 300 metros de comprimento e ondas de 1 cm têm uma frequência de 30 GHz.

O espectro eletromagnético é mostrado na Figura 2.1. As ondas de rádio, as microondas, o infravermelho e a porção de luz visível do espectro podem ser utilizados para a transmissão de informações através da modulação da amplitude, frequência ou fase. A luz ultravioleta, os raios-X e os raios gama deveriam ser melhores devido às suas altas frequências, mas eles são difíceis de produzir, modular, não se propagam bem através de construções e são nocivos para os seres vivos [Tanenbaum, 1996]. As bandas relacionadas na parte inferior da Figura 2.1 são nomes oficiais da ITU (*International Telecommunication Union*) [ITU, 2003]. Esses nomes são baseados no comprimento de onda. Os termos LF, MF e HF se referem a *Low*, *Medium* e *High Frequency*, respectivamente. Quando esses nomes foram associados, ninguém esperava utilizar frequências acima de 10 MHz. As bandas maiores foram chamadas de *Very*, *Ultra*, *Super*, *Extremely* e *Tremendously High Frequency*.

Figura 2.1 - Espectro eletromagnético e seu uso nas comunicações [Tanenbaum, 1996]

Em bandas VLF, LF e MF, as ondas de rádio seguem a superfície da Terra, como ilustra a Figura 2.2 (a). Em baixas frequências, essas ondas podem ser detectadas até 1.000 Km de distância. As emissoras de rádio AM utilizam a banda MF. Ondas de rádio que operam nessas bandas atravessam construções facilmente. O principal problema na utilização de frequências baixas em comunicação de dados é a pequena largura de banda que elas oferecem [Tanenbaum, 1996].

Figura 2.2 - (a) Ondas VLF, VF e MF (b) Ondas HF e VHF [Tanenbaum, 1996]

Nas bandas HF e VHF, as ondas são absorvidas parcialmente pela Terra. Entretanto, as ondas que chegam à ionosfera (camada de partículas que circula a Terra a uma altitude de 100 a 500 Km), são refletidas e enviadas de volta para a Terra como mostrado na Figura 2.2 (b). Sob

certas condições atmosféricas, os sinais podem ser refletidos várias vezes. Operadores de rádio amador utilizam essas bandas para comunicação a longas distâncias.

Para prevenir um caos total, foram criadas organizações nacionais e internacionais para regulamentar o uso do espectro eletromagnético. Nos Estados Unidos, a *FCC (Federal Communications Commission)* [FCC, 2003] aloca espectro para rádios AM e FM, televisão, telefonia celular, operadoras de telefonia, polícia, militares, navegação, governo e muitos outros usuários. No Brasil, essa responsabilidade é delegada a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações). Em âmbito mundial, uma agência da ITU-R (*International Telecommunication Union – Radiocommunication Sector*) é responsável por essa regulamentação: a WRC (*World Radiocommunications Conference*), antiga WARC (*World Administrative Radio Conference*).

Muitas vezes as agências nacionais não seguem as recomendações da WRC. Conseqüentemente, dispositivos que utilizam radiofrequência podem funcionar apenas em um certo país ou em uma certa região.

Para aumentar a flexibilidade e diminuir a burocracia na alocação de espectro, as organizações responsáveis criaram certas faixas de frequência de uso livre, ou seja, não é necessário obter nenhuma licença para utilizar essas frequências. Elas são chamadas de faixas de frequência ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). Essas faixas de frequência vão de 902 a 928 MHz e de 2.400 a 2.483 MHz [Anatel, 2003].

Para prevenir abusos, essas organizações impuseram um conjunto de regras para essas faixas de frequência e somente produtos certificados são permitidos. Essas regras especificam a máxima potência transmitida na faixa de frequências e fora dela (para não poluir as faixas de frequências adjacentes). As faixas de frequência ISM também especificam qual técnica de SST (*Spread Spectrum Technology*) deve ser utilizada: *Direct Sequence* ou *Frequency Hopping*. Estes conceitos são definidos na seção 2.4.

2.2.2. COMO SE PROPAGAM AS ONDAS DE RÁDIO

Há três modos de propagação de ondas de rádio, a partir dos quais podem ocorrer subdivisões. Esses modos podem ser compreendidos através do diagrama da Figura 2.3.

Figura 2.3 - Modos de rádio-propagação

As ondas ionosféricas se localizam na ionosfera, camada da atmosfera que fica de 100 a 500 Km de altura da Terra. As ondas troposféricas são ondas que se propagam mais perto da superfície terrestre (até 10 Km da superfície), na curvatura atmosférica chamada troposfera.

O modo de propagação por ondas terrestres é o mais importante em comunicações celulares. Em especial, as ondas espaciais são predominantes na faixa de frequências e distâncias envolvidas nesse tipo de sistema.

No diagrama da Figura 2.3, a onda direta e a onda refletida no solo representam mecanismos básicos de propagação. Nas situações práticas, o que se encontra é a ocorrência de ondas espalhadas, difratadas e, dependendo do ambiente, ondas transmitidas através de obstáculos. Dependendo da faixa de frequências utilizada, do ambiente e das distâncias envolvidas, haverá predomínio de um ou mais mecanismos sobre os demais.

A Tabela 2.1 apresenta um sumário das faixas de frequência de rádio, suas características (mecanismos de propagação envolvidos) e aplicações.

Tabela 2.1 - Aspectos gerais de rádio-propagação

Frequências	Mecanismos de propagação	Efeitos da atmosfera e do terreno	Tipos de serviço
ELF (30 - 300 Hz)	Onda “guiada” entre a ionosfera e a superfície da Terra e refratada até grandes profundidades no solo e no mar.	Atenuação em 100 Hz entre 0,003 e 0,03 dB/km sobre o solo e de 0,3 dB/km sobre a água do mar.	Comunicação com submarinos, minas subterrâneas; sensoriamento remoto do solo.
VLJF (3 - 30 kHz)	Onda “guiada” entre a camada D da ionosfera e a superfície da Terra e refratada no solo e no mar.	Baixas atenuações sobre o solo e no mar.	Telegrafia para navios com alcance mundial; serviços de navegação; padrões horários.
LF (30 - 300 kHz)	Onda “guiada” entre a camada D da ionosfera e a superfície da Terra até 100 kHz, com a onda ionosférica tornando-se distinta acima desta frequência.	Desvanecimento em distâncias curtas devido à interferência entre a onda ionosférica e a de superfície.	Comunicação de longa distância com navios; rádio-difusão e serviços de navegação.
MF (300 - 3000 kHz)	Onda de superfície a curta distância e em frequências mais baixas e onda ionosférica a longa distância.	Atenuação da onda de superfície reduz sua cobertura a 100 km; onda ionosférica forte à noite.	Rádio-difusão, rádio-navegação e alguns serviços móveis.
HF (3 - 30 MHz)	Onda ionosférica acima da distância mínima; onda de superfície a distâncias curtas.	Comunicação muito dependente do comportamento da ionosfera; onda de superfície bastante atenuada.	Fixo ponto-a-ponto; móvel terrestre, marítimo e aeronáutico; rádio-difusão.
VHF (30 - 300 MHz)	Propagação em visibilidade; difração; tropodifusão (ondas espaciais).	Efeitos de refração; multipercursos; difração pelo relevo; espalhamento troposférico.	Fixo terrestre; móvel terrestre e por satélite; rádio-difusão; rádio-farol.
UHF (300 - 3000 MHz)	Propagação em visibilidade; difração; tropodifusão (ondas espaciais).	Efeitos de refração; multipercursos e dutos (faixa alta); difração e obstrução pelo relevo.	Fixo terrestre; radar móvel terrestre e por satélite; rádio-difusão e TV; celular e PCS.
SHF (3 - 30 GHz)	Propagação em visibilidade.	Desvanecimento por multipercursos; atenuação por chuvas (acima de 10 GHz); obstrução pelo terreno.	Fixo terrestre e por satélite; móvel terrestre e por satélite; sensoriamento remoto; radar.
EHF (30 - 300 GHz)	Propagação em visibilidade.	Desvanecimento por multipercursos; atenuação por chuvas; absorção por gases; obstrução por edificações.	Rádio acesso fixo e móvel; sistemas por satélite; sensoriamento remoto.

Os mecanismos de propagação predominantes na faixa de frequências usada em sistemas celulares são: visibilidade, reflexão (incluindo múltiplas reflexões e espalhamento) e difração (incluindo múltiplas difrações).

O efeito de propagação que se pronuncia é o multipercurso, pois o sinal resultante recebido é devido à composição de inúmeras versões do sinal original transmitido, que percorreram diferentes percursos determinados, em grande parte, pelas reflexões e difrações que sofreram. Outro efeito de propagação é o que se manifesta através da flutuação do nível de sinal

devido a obstruções geradas pelo relevo ou criadas pelo homem. Esse efeito é conhecido por sombreamento.

No projeto de um sistema, a determinação exata das características de mecanismos e efeitos é muito importante. Os mecanismos de propagação determinam a atenuação de propagação no enlace e, conseqüentemente, o valor médio do sinal no receptor. A compreensão dos mecanismos envolvidos é básica para o cálculo do raio máximo de uma célula. Por outro lado, os efeitos de propagação determinam as flutuações rápidas e lentas do sinal em torno de seu valor médio. As flutuações que reduzem o valor do sinal abaixo da média são o que se denomina desvanecimento (em pequena escala ou, usualmente, desvanecimento rápido; e em larga escala ou, usualmente, desvanecimento lento). O correto entendimento das características dos efeitos de propagação é a base para a estimativa do desempenho do sistema e cálculo de cobertura das células [Wireless, 2003].

2.3. TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

A modulação é o processo através do qual a informação a ser transmitida é convertida em uma forma conveniente para sua transmissão. Geralmente, esse processo envolve a translação da banda básica de informação em bandas de frequência muito mais altas, nas quais efetivamente ocorrerá a transmissão. O sinal original, ou seja, a informação propriamente dita, é chamado sinal modulador. O sinal resultante do processo de modulação é chamado sinal modulado. No receptor, ocorre o processo inverso, no qual se extrai a informação do sinal modulado. Esse processo é conhecido por demodulação.

Os esquemas de modulação podem ser analógicos ou digitais. Os esquemas analógicos foram os primeiros a serem implementados e propunham a transmissão de ondas senoidais proporcionais em amplitude, em fase, em frequência ou combinações destas, à informação contida no sinal modulador. As técnicas digitais surgiram antes das analógicas, mas somente puderam ser utilizadas com a evolução tecnológica.

2.3.1. MODULAÇÃO ANALÓGICA

Em 1905, Fessenden obteve sucesso em uma experiência de transmissão de informação via rádio pela utilização de uma técnica chamada Modulação de Amplitude (AM). Já em 1935,

Edwin Armstrong apresenta a Modulação em Freqüência (FM), um caso especial da Modulação em Fase (PM), como técnica eficaz de transmissão via rádio.

Nessas técnicas os sinais transmitidos no meio são funções contínuas da forma de onda da mensagem. Tanto a amplitude, a fase e a freqüência de uma onda portadora podem ser continuamente variadas de acordo com a informação a ser transmitida. A técnica de Amplitude Modulada (AM) consiste em variar a amplitude da onda portadora de acordo com as variações de amplitude do sinal modulador. A Modulação em Freqüência (FM) consiste em alterar o valor da freqüência da onda portadora, em uma faixa pequena ao redor da freqüência original, de acordo com as variações de amplitude do sinal modulador. A Modulação em Fase (PM) consiste em fazer com que a fase da onda senoidal portadora varie proporcionalmente com a variação de amplitude do sinal modulador.

2.3.2. MODULAÇÃO DIGITAL

Quando se transmite uma seqüência de dados digitais, o sinal original é convertido em outra forma. As características desse sinal são amplitude, freqüência e fase. Pode-se alterar qualquer uma dessas três características para se formular um esquema de modulação (como nas modulações analógicas). Nas seções 2.3.2.1, 2.3.2.2, 2.3.2.3, 2.3.2.4 e 2.3.2.5, são apresentadas as formas de modulação usadas na transmissão de sinais digitais.

2.3.2.1. ASK (AMPLITUDE SHIFT KEYING)

Na técnica ASK, a modulação ocorre através de mudanças na amplitude da portadora. Consiste simplesmente em permitir ou não a transmissão da portadora em função da ocorrência ou não de bits 0 ou 1 conforme mostrado na Figura 2.4.

Figura 2.4 - Modulação ASK

2.3.2.2. FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING)

A técnica de FSK comuta a frequência da portadora em dois valores fixos: a frequência nominal da portadora e outra pré-definida. Esta comutação é em função do sinal digital binário de entrada, conforme pode ser observado na Figura 2.5.

Figura 2.5 - Modulação FSK

2.3.2.3. PSK (PHASE SHIFT KEYING)

Esta técnica é baseada na alteração da fase da portadora, de acordo com a informação a ser transmitida, conforme mostrado na Figura 2.6. O esquema de modulação PSK oferece boa flexibilidade em termos de compromisso entre banda necessária e taxa de erro, gerando uma grande variedade de esquemas de modulação com base no PSK original.

Figura 2.6 - Modulação PSK

Quando a fase da portadora sofre dois desvios, tem-se uma modulação do tipo BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) [Rappaport, 1996].

2.3.2.4. MSK (MINIMUM SHIFT KEYING)

A modulação MSK é uma modulação FSK com a separação mínima entre as portadoras utilizadas de modo a garantir a ortogonalidade entre elas. Essa ortogonalidade é imprescindível para uma detecção confiável do sinal recebido, pois sinais ortogonais são independentes, ou seja, facilmente diferenciáveis.

Das técnicas de modulação digital para comunicações móveis, a MSK apresenta menor complexidade de implementação.

2.3.2.5. GMSK (GAUSSIAN MINIMUM SHIFT KEYING)

A modulação GMSK é uma modificação da técnica MSK, na qual a sequência de bits de entrada do modulador é filtrada por um filtro passa-baixas com resposta a um pulso retangular gaussiana. A saída desse filtro é então responsável por modular em MSK a portadora utilizada. O efeito do filtro é o de conformar os pulsos de entrada do modulador MSK tornando as transições de frequência mais suaves e, com isso, reduzindo a largura de faixa do lóbulo principal do sinal modulado [Rappaport, 1996].

2.4. ESPALHAMENTO ESPECTRAL

Spread Spectrum (SS), ou Espalhamento Espectral, é uma técnica de codificação para transmissão digital na qual a frequência do sinal transmitido é variada intencionalmente. Esta técnica é bastante resistente a interferências e interceptação, pois transforma o sinal de informação de maneira que ele se assemelhe a um ruído. O ruído possui um espectro achatado e uniforme sem picos coerentes e pode, geralmente, ser removido por filtragem. Devido à característica de se assemelharem a ruídos, os sinais *Spread Spectrum* são difíceis de serem interceptados ou demodulados.

A técnica SS tem sido amplamente usada em sistemas de comunicação comerciais e militares. Nos sistemas SS, o sinal de informação utiliza uma banda de RF (Rádio Frequência) muito maior do que um sinal convencional. A expansão da banda propicia certas vantagens desejáveis e determinadas características que dificilmente seriam obtidas de outro modo [Casella, 1998].

Um sinal de rádio convencional possui uma frequência que não é modificada no tempo (exceto quando ocorrem flutuações rápidas e pequenas como resultado da modulação). Um sinal a 103,1 MHz em um receptor de FM terá sempre um valor muito próximo de 103,1 MHz. A frequência de sinais convencionais de rádio é mantida o mais constante possível. Por isso, a largura de banda pode ser mantida dentro de certos limites e o sinal pode ser facilmente encontrado por alguém que queira receber a informação.

Existem ao menos dois problemas com transmissões convencionais de rádio. Primeiro, um sinal com frequência constante está sujeito à interferência. Isso ocorre quando outro sinal é transmitido próximo à frequência do sinal desejado. A interferência pode ser acidental (como em comunicações de radioamador) ou pode ser intencional (como na guerra). Segundo, um sinal de frequência constante é fácil de interceptar, e conseqüentemente, não é apropriado para aplicações nas quais as informações devem ser confidenciais.

Para minimizar problemas como os citados acima, a frequência do sinal transmitido pode ser intencionalmente variada em um segmento significativamente grande do espectro eletromagnético. Essa variação é feita utilizando uma função matemática específica. Para interceptar o sinal, um receptor deve ser sintonizado em frequências que variam precisamente de acordo com essa função. O receptor deve conhecer a função de tempo/frequência empregada pelo transmissor e o ponto de início dessa função. Segundo Casella [Casella, 1998], dentre as razões para o emprego da técnica SS, pode-se citar:

1. Capacidade de rejeitar interferências;
2. Capacidade de reduzir os efeitos de atenuação;
3. Baixa probabilidade de interceptação;
4. Sistemas de acesso múltiplo endereçados por código;
5. Sigilo.

Existem várias técnicas SS que podem ser empregadas em sistemas de comunicação. Normalmente, cada técnica apresenta características intrínsecas que facilitam o seu emprego em determinados campos de atuação. As técnicas SS mais difundidas são descritas brevemente a seguir.

2.4.1. DIRECT SEQUENCE

A tecnologia DS-SS gera um padrão de redundância para cada bit de informação a ser transmitido. Cada padrão (chamado de *chip* ou *chipping code*) ocupa múltiplos canais (frequências), de forma que um receptor atuando sobre estes canais é capaz de receber a transmissão mesmo quando algumas destas frequências sofrem interferência. Para um receptor estranho, o DS-SS é um sinal similar a ruídos de baixa potência e é rejeitado (ignorado), pela maioria dos receptores de banda estreita.

Na técnica DS-SS, também conhecida como *Spread Spectrum Pseudo-Aleatório*, é definida uma sequência de dados que contém a informação $b(t)$, que é usada para modular uma sequência pseudo-aleatória $c(t)$ de faixa larga através da multiplicação dos dois sinais. Como o sinal $c(t)$ é de faixa larga, o sinal $m(t)$ resultante da multiplicação dos dois sinais também será de faixa larga. O sinal $c(t)$ age como um código de espalhamento. Em princípio, qualquer técnica de modulação digital pode ser utilizada, entretanto, a mais empregada é a modulação digital BPSK [Casella, 1998] [Rappaport, 1996].

Após o espalhamento, o sinal é modulado novamente (na frequência central de faixa) e, em seguida, transmitido. Uma representação gráfica é mostrada na Figura 2.7.

Figura 2.7 - Sinal resultante da multiplicação dos sinais

A supressão da interferência é realizada através da passagem do sinal por um filtro passa-baixas, já que o sinal $b(t)$ é de faixa-estreita e o componente $c(t)i(t)$ é de faixa-larga, recupera-se, desta maneira, a informação que foi transmitida.

As vantagens de utilizar esta técnica em sistemas de comunicação móvel são: melhor desempenho contra ruídos e interferências, maior dificuldade de detecção e melhor desempenho contra sinais *multipath*. Em contrapartida, o DS-SS requer um canal de banda larga com distorção pequena e um gerador de código de alta velocidade.

2.4.2. FREQUENCY HOPPING

A tecnologia FH-SS usa uma onda portadora de banda estreita que muda de frequência em um padrão de comportamento conhecido tanto pelo transmissor quanto pelo receptor. Devidamente sincronizados o transmissor e o receptor trocam informações como se existisse um canal único. Para um receptor estranho, o FH-SS é um sinal similar a impulsos de ruído de curta duração.

Essa técnica utiliza uma série de canais estreitos. Esses canais são todos utilizados em uma sequência pré-determinada. Por exemplo, a banda ISM de 2400 MHz é dividida em 79 canais de 1 MHz. Periodicamente (usualmente de 20 até 400 ms), o sistema troca de canal, seguindo um padrão de troca cíclico pré-determinado. Com esse sistema é possível evitar interferências porque ele não utiliza sempre um mesmo canal. Caso um canal possua ruído, e o sistema não possa utilizá-lo, o sistema irá esperar pelo próximo canal sem ruído. Como o sistema troca de canal e utiliza toda a largura de banda disponível, ele também aproveita para fazer uma média da qualidade de todos os canais [Martinez, 1997].

No sistema DS-SS, o uso de uma sequência de espalhamento provoca um espalhamento instantâneo da faixa de transmissão. O FH-SS cobre todo o espectro simplesmente fazendo o sinal modulado "saltar" aleatoriamente de uma frequência para outra, de acordo com um código de espalhamento. Neste caso, o espectro do sinal transmitido é espalhado sequencialmente, e não instantaneamente como no caso do DS-SS.

Existem dois tipos de espalhamento de frequência (FH): *Slow FH* (SFH), onde são transmitidos vários bits de informação em cada salto e *Fast FH* (FFH), onde a frequência da portadora executa vários saltos durante a transmissão de um bit de informação. Em sistemas de

redes sem fio, FFH não é usado por ter alto custo e consumir muita energia. O SFH é melhor por possuir melhor tolerância em relação ao nível de sincronismo necessário.

As vantagens na utilização desta técnica em sistemas de comunicação móvel são: poder ser programada para evitar porções do espectro e haver um melhor desempenho quando existem canais com pouco ruído. Por outro lado, são necessários um sintetizador de frequências complexo e o emprego de códigos corretores de erro.

2.4.3. COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS DE ESPALHAMENTO

Nos sistemas DS-SS comerciais, a taxa típica entre a sequência de espalhamento e o sinal situa-se entre 10 e 100. Esse número é conhecido como fator de espalhamento. Sistemas DS-SS, de acordo com regulamentos da FCC, precisam manter um fator de espalhamento de pelo menos 10. Se a eficiência espectral da sinalização é 1 e a faixa alocada é W , então a taxa de dados por usuário não pode exceder $W/10$. A taxa de dados por usuário depende ainda da distribuição geográfica dos usuários e, portanto, pode ser muito menor. Os sistemas FH-SS que operam nas bandas ISM são limitados quanto à largura de faixa instantânea em 0,5 MHz (faixa de 915MHz) ou 1 MHz (faixas de 2,4 e 5,8 GHz). Em sistemas FH-SS não sincronizados (exigência da FCC), no pior caso, a taxa de dados agregada chega a $W/4$ e este valor não depende da distribuição geográfica dos usuários.

Sistemas FH-SS possuem um potencial maior para rejeição de interferência que sistemas DS-SS, já que podem administrar o espectro utilizado com mais facilidade. Desta forma, possuem uma capacidade maior de evitar interferências com usuários de maior prioridade, como operadores de rádio amador.

Devido à maneira como os sistemas FH-SS e DS-SS ocupam a faixa, é necessário que compartilhem a mesma faixa entre seus usuários. Alguns sistemas DS-SS são projetados para usarem uma faixa menor que a faixa disponível, que é dividida em canais. Assim, cada usuário trabalha em um canal, não havendo interferência. Em sistemas FH-SS, a mesma largura de faixa total é usada por diferentes redes, mas cada rede usa canais estreitos de 0,5 ou 1 MHz e seguem seu próprio padrão de saltos em frequência.

2.5. SISTEMA CELULAR

Um sistema celular oferece acesso móvel aos assinantes cadastrados dentro de uma determinada área de atendimento. O espectro disponível para operação do serviço móvel celular é dividido em faixas correspondentes a canais. Ao invés de transmitir todos os canais disponíveis a partir de um ponto, com potência e altura suficientes para abranger toda a área de atendimento, a operadora que oferece o serviço de telefonia móvel pode dividir a área de atendimento em regiões menores, denominadas "células", transmitindo um conjunto de canais em cada célula. Assim, um mesmo conjunto de canais pode ser reutilizado em diversas células de modo a aumentar a capacidade do sistema, fazendo melhor proveito da faixa de frequências disponível.

Células distintas que utilizam os mesmos canais são denominadas "células co-canais" ou "co-células". Estas devem estar geograficamente separadas, permitindo o controle do nível de interferência entre conexões que utilizam o mesmo canal. Este tipo de interferência é denominado "interferência co-canal".

Basicamente, o sistema celular é composto por quatro componentes:

1. Estação Móvel (EM) ou Terminal Móvel (TM): é o equipamento do usuário. Estação Móvel é a Unidade de Controle, junto com uma antena e um transceptor e pode se apresentar nas configurações veicular, transportável ou portátil;
2. Estação Rádio-Base (ERB): é onde ficam as torres de transmissão das células. As ERBs provêem a interface entre as estações móveis (através dos canais de rádio) e a central de controle do sistema (CCC). A ERB fornece a interface entre a central de comutação e controle e os terminais móveis, estabelecendo o enlace radioelétrico com o terminal móvel dentro da área de cobertura de uma célula. Uma ERB pode servir chamadas de vários terminais móveis. Quando um terminal de assinante se move de uma célula (A) para outra (B) durante uma conexão, sua chamada é transferida da ERB (A) para (B), passando a utilizar um canal da ERB (B). Este processo de transferência sem interromper a conexão é denominado *handoff*¹ e deveria, idealmente, ser imperceptível para o usuário. As conexões entre ERB e CCC são

¹ *Handoff* é o processo através do qual o sistema transfere a comunicação com um terminal móvel de um canal ou estação base para outro canal ou outra estação base.

feitas normalmente por troncos de linhas físicas, sendo também possível conexão por rádio e fibra ótica. As CCCs são conectadas às centrais de rede fixa;

3. Central de Comutação e Controle (CCC): é o cérebro do sistema. Liga todas as ERBs e controla (comuta) as chamadas do sistema. A CCC satisfaz todo o processamento de uma central digital mais as funções específicas do sistema móvel. A CCC é responsável pelas funções operacionais da rede móvel, quais sejam, comutação, controle, tarifação e conexão com a rede fixa;
4. Rede de Telefonia Pública Comutada (RTPC): a conexão entre a CCC e a rede pública permite as chamadas móvel/fixos e estabelece a conexão entre CCCs de diferentes sistemas [Telecelula, 2003].

A Figura 2.8 ilustra os componentes descritos anteriormente.

Figura 2.8 - Estrutura de células

Quando é estabelecida uma chamada entre um assinante fixo e um assinante móvel, a transmissão dos dados é feita via rádio para a estação rádio-base situada mais próxima da estação móvel. Esses dados vão para uma central de comutação e controle do serviço móvel, e então, para a rede telefônica pública onde o assinante fixo está conectado. Da mesma forma, um

assinante fixo acessa automaticamente um terminal móvel, através de busca (*paging*) e comutação automática processadas pela central de comutação do serviço móvel.

Os três sistemas (CCC, ERB e Terminal Móvel) são conectados entre si por enlaces de rádio e enlaces de dados de alta velocidade. São realizadas conexões via rádio entre os terminais móveis e a estação de rádio-base, onde cada terminal móvel utiliza apenas um canal por vez para seu enlace de comunicação. Este canal não é fixo, podendo ser qualquer um dentro da faixa de frequências alocada [Telecelula, 2003].

2.6. PRINCIPAIS TÉCNICAS DE ACESSO PARA SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MÓVEL

As técnicas de acesso são utilizadas para permitir o compartilhamento de uma determinada faixa de rádio-frequência entre vários terminais móveis. O compartilhamento é necessário, pois provê a maximização do número de usuários simultâneos na faixa de frequências [Linnartz, 1997] [Rappaport, 1996].

Em se tratando de uma comunicação bidirecional, o canal pode ser dividido por tempo ou por frequência. No primeiro caso, tem-se a duplexação por divisão de tempo (TDD – *Time Division Duplexing*). Quando o canal é dividido em frequência, tem-se a duplexação por divisão de frequência (FDD – *Frequency Division Duplexing*).

Em ambos os casos, uma parcela do canal é destinada à transmissão e outra à recepção. A técnica de duplexação TDD pode eliminar a necessidade de utilização de faixas de frequências distintas para transmissão e recepção, mas pode acarretar atraso e assim a comunicação não é *full duplex* no sentido real [Rappaport, 1996].

2.6.1. ACESSO FDMA (FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS)

No método de Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência, a largura de faixa total disponível é subdividida e, para cada usuário, é alocada uma dessas sub-faixas. Assim, o FDMA aloca um único canal para um usuário por vez. Se a qualidade do canal deteriora, o controlador pode trocar de canal.

Embora tecnicamente simples de implementar, o FDMA desperdiça largura de banda: o canal é disponibilizado para uma única conversa mesmo que ninguém esteja falando. Além

disso, ele não pode tratar diretamente formas diversificadas de dados, somente transmissão de voz.

A faixa de transmissão é dividida em um determinado número de canais que são atribuídos aos usuários através de um processo de consignação por demanda, ou seja, em uma ERB, o usuário pode utilizar qualquer um dos canais que esteja desocupado no instante considerado. Essa técnica somente se aplica aos sistemas analógicos.

Normalmente, a largura de faixa de cada canal é pequena, ou seja, um sistema FDMA é considerado um sistema de faixa estreita. Devido à faixa estreita dos canais, uma transmissão digital pode ter longa duração em relação ao espalhamento temporal causado pelo canal, o que pode acarretar pequenas interferências.

A comunicação é contínua no tempo o que leva à necessidade de poucos bits de *overhead* com o propósito de sincronização e delimitação de *frames* em uma transmissão digital. Por transmitir e receber ao mesmo tempo, os transceptores necessitam de *duplexers*, elevando o custo do sistema.

Nos casos em que muitos canais compartilham uma mesma antena e, portanto, o mesmo amplificador de potência, pode ocorrer intermodulação. Esse efeito se deve à passagem dos vários canais pelo amplificador de potência que, objetivando maximizar a eficiência de potência, trabalham com os dispositivos de amplificação perto da região não linear [Yacoub, 1993].

2.6.2. ACESSO TDMA (TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS)

No método de Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo, o espectro disponível é dividido em intervalos de tempo de tal forma que um número de usuários possa acessar um único canal de frequência de rádio sem interferências, locando um único intervalo de tempo para cada usuário dentro de cada canal. É possível que os intervalos de tempo sejam alocados por demanda para diferentes usuários fazendo-se o uso de prioridades. Dessa forma, compartilha-se melhor o espectro e tem-se um aumento na capacidade do sistema.

O esquema de transmissão digital TDMA multiplexa três sinais sobre um único canal. O TDMA padrão para celular divide um único canal em seis intervalos de tempo, com cada sinal usando dois intervalos de tempo. A cada usuário é concedido um intervalo de tempo específico

para transmissão. Se o trajeto de transmissão se deteriorar, o controlador comuta o sistema para outra banda. Embora esta técnica seja simples de executar, ela desperdiça largura de banda.

Além do aumento da eficiência da transmissão, o TDMA oferece outras vantagens sobre outros padrões de tecnologias celulares podendo ser facilmente adaptado para a transmissão de dados bem como para comunicação por voz.

O TDMA é a única tecnologia que oferece uma utilização eficiente da hierarquia da estrutura de células oferecendo pico, micro e macro-células. A hierarquia da estrutura de células permite que o sistema possa ser ajustado de acordo com o tráfego e os serviços necessários.

Ao contrário dos sistemas que utilizam FDMA – que podem acomodar tanto sinais analógicos quanto digitais – sistemas com TDMA necessitam operar somente com sinais digitais, pois a transmissão é feita em rajadas uniformemente espaçadas no tempo.

Em sistemas com TDMA/TDD, metade dos intervalos de tempo é destinada à transmissão e metade à recepção. No caso de TDMA/FDD um mesmo intervalo é utilizado na transmissão e recepção, sendo a separação feita na frequência.

Devido às descontinuidades na transmissão, o processo de *handoff* do usuário móvel se torna mais simples, pois ele pode utilizar os intervalos de tempo sem transmissão para “ouvir” outros transmissores (de outras estações base, por exemplo, no caso de telefonia celular).

2.6.3. ACESSO CDMA (CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS)

No método de Acesso Múltiplo com Divisão por Código, é utilizada a técnica de espalhamento espectral que consiste em permitir que múltiplas frequências sejam usadas simultaneamente. Cada pacote digital de códigos CDMA, conhecido por *walsh code*, é enviado com uma única chave. Todos os usuários transmitem ao mesmo tempo e utilizam a mesma faixa de frequências. Este reuso de frequência universal não é fortuito. Pelo contrário, é crucial para a eficiência espectral muito alta que é a marca registrada do CDMA.

Um receptor CDMA responde somente para aquela chave e pode demodular o sinal associado. Através do processo de correlação do sinal recebido com o código, o receptor extrai o sinal do usuário desejado. Os sinais dos demais usuários parecerão ruído para o receptor em questão, pois seus códigos não são correlacionados com o sinal desejado.

A tecnologia CDMA vem se destacando ao superar as demais técnicas de acesso múltiplo existentes, à medida que sua implementação torna-se menos onerosa com o domínio da sua tecnologia. A capacidade de um sistema CDMA é dita limitada pelas interferências (ao contrário dos concorrentes FDMA e TDMA que podem ser classificados como limitados pela largura de faixa). Assim, qualquer redução no nível das interferências se reflete diretamente em um aumento no número de usuários no sistema.

Com o CDMA, códigos digitais únicos - ao invés de frequências ou canais separados - são usados para diferenciar os assinantes. Os códigos são compartilhados pelo terminal móvel (telefone celular) e pela estação-base, e são chamados "Sequência de Códigos Pseudo-Aleatórios".

Em sistemas FDMA ou TDMA cada faixa de frequências ou intervalo de tempo é alocado a uma chamada. Durante a chamada, nenhum usuário poderá utilizar aquela faixa de frequências ou aquele intervalo de tempo. Pode-se facilmente verificar que, para um sistema celular FDMA ou TDMA com padrão de reuso igual a 7, considerando-se como interferentes as seis células co-canais mais próximas (Figura 2.9) a capacidade em termos de canais por célula pode ser aproximadamente expressa por [Lee, 1995]:

$$m = \frac{B_t / B_c}{\sqrt{3} \left(\frac{C}{I} \right)} \quad \text{Equação 2}$$

Na Equação 2, B_t é a largura de faixa total de transmissão ou recepção, B_c é a largura de faixa equivalente por canal e (C/I) é a relação portadora/interferência mínima por canal ou por intervalo de tempo aceitável na recepção. Na Figura 2.9 é mostrada uma configuração típica para um sistema celular com reuso de frequências. Para a geometria utilizada nesta figura e para um expoente de perdas de percurso igual a n , a C/I , para o pior caso (quando o terminal móvel está localizado no limite de uma célula - ponto X), pode ser determinada por [Lee, 1995]:

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-n}}{2(D-R)^{-n} + (D - \frac{R}{2})^{-n} + (D + \frac{R}{2})^{-n} + (D+R)^{-n} + D^{-n}} \quad \text{Equação 3}$$

É importante citar que a Equação 1 e a Equação 2 consideraram a perda por propagação variando com a n -ésima potência da distância e , como já citado, o valor de n é dependente das características de propagação de cada área considerada.

Figura 2.9 - Ilustração da primeira camada de co-células para cluster com $N = 7$

O aumento da capacidade dos sistemas FDMA e TDMA além daquela demonstrada pela Equação 2 pode ser conseguido através da utilização de técnicas como Divisão de Células, Setorização² e a implementação de Microcélulas [Rappaport, 1996]. Vale, porém ressaltar que, no caso da setorização, técnica esta comumente empregada, tem-se como efeito colateral a redução da eficiência de entroncamento do sistema [Yacoub, 1993] [Rappaport, 1996], pois o número de canais por célula será distribuído pelos setores, ou seja, a capacidade não será multiplicada pelo número de setores por célula.

No caso dos sistemas CDMA, o cálculo exato da capacidade envolve uma quantidade de variável muito superior do que a quantidade de variáveis envolvidas na análise dos sistemas FDMA ou TDMA. Vários fatores podem ser explorados que elevam a capacidade do CDMA a patamares consideravelmente superiores às técnicas de acesso múltiplo FDMA e TDMA.

O controle de potência realizado nos sistemas FDMA e TDMA tem como principais objetivos a redução do consumo de energia e do nível de interferências. O primeiro leva a um aumento do tempo de vida das baterias dos terminais móveis, enquanto o segundo melhora a qualidade do serviço (melhor qualidade de voz). Nos sistemas CDMA, que são sistemas

² A técnica de Setorização consiste em dividir as células em setores usando antenas direcionais na ERB.

inerentemente limitados pela quantidade de interferência, um controle eficaz de potência leva a uma possibilidade de aumento direto na capacidade do sistema.

Como foi citado anteriormente, nos sistemas de telefonia celular FDMA e TDMA, enquanto estiver ocupada uma faixa de frequências ou um intervalo de tempo durante uma chamada, mesmo que o usuário não esteja transmitindo informação (falando) aquele canal não poderá ser utilizado por outro usuário, a não ser através da utilização de técnicas elaboradas de alocação dinâmica de canais. No CDMA, estando um usuário em silêncio, pode-se desligar ou reduzir a potência transmitida nesses instantes. Isto pode levar a uma redução na quantidade de interferência no sistema, permitindo um proporcional aumento na capacidade.

A setorização nos sistemas FDMA ou TDMA tem como principal objetivo a redução do nível de interferências com um pequeno aumento na capacidade de tráfego. Nos sistemas CDMA pode-se utilizar a setorização para uma diminuição efetiva do nível de interferências, levando a um aumento direto na capacidade do sistema. Para três setores por célula, a capacidade pode ser realmente triplicada.

Outros fatores importantes a considerar estão relacionados à tecnologia de espalhamento espectral utilizada no CDMA que permite: sigilo na comunicação, robustez contra as degradações causadas pelo canal rádio móvel, pequena densidade espectral de potência (baixa interferência eletromagnética), imunidade a interferências etc. Gilhousen e outros em [Gilhousen, 1991] fornecem justificativas técnicas interessantes que, se não convincentes, ao menos demonstram as potencialidades da tecnologia CDMA e indicam o caminho que ela poderá traçar de agora em diante, tornando-se, provavelmente, a mais utilizada para sistemas de comunicação multi-usuários.

2.6.4. ACESSO ISMA (INHIBIT SENSE MULTIPLE ACCESS)

Em redes de comunicação móvel, um terminal pode não ser capaz de perceber a transmissão de um outro terminal remoto. Esse efeito, conhecido como problema do "terminal escondido" é evitado no método ISMA, através do qual a estação rádio base transmite um sinal de ocupado inibindo a transmissão por parte de todos os outros terminais. A desvantagem do ISMA reside na necessidade de um canal de *feedback* em tempo real (contínuo).

A estação rádio base realiza *broadcast* no *downlink* transmitindo sinais *idle* ou *busy* em resposta ao estado do canal *uplink*. Quando um terminal deseja transmitir ele primeiro escuta os sinais enviados pela base, se ele receber um sinal *idle* ele poderá transmitir, caso contrário, terá que aguardar e tentar mais tarde a transmissão.

2.6.5. ACESSO HÍBRIDO

As técnicas híbridas combinam algumas das técnicas citadas anteriormente. São elas: FDMA/TDMA, FDMA/CDMA e TDMA/CDMA.

Na técnica híbrida FDMA/TDMA, o espectro disponível é dividido em sub-faixas onde cada uma transporta a comunicação de um determinado número de usuários que compartilham essa sub-faixa em instantes de tempo distintos.

Na técnica híbrida FDMA/CDMA, o espectro disponível é dividido em sub-faixas onde cada uma transporta a comunicação de um determinado número de usuários que compartilham essa sub-faixa ao mesmo tempo, porém utilizando seqüências pseudo-aleatórias distintas (códigos distintos).

Na técnica híbrida TDMA/CDMA, cada célula utiliza uma seqüência pseudo-aleatória comum, sendo que em uma determinada célula é alocado a cada usuário um intervalo de tempo distinto dos demais.

2.7. PADRÕES EM SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MÓVEL

Apesar da busca constante pela padronização ou pela interoperabilidade entre os sistemas de comunicação móvel, o número de diferentes sistemas existentes é extremamente elevado. A rápida evolução tecnológica e o surgimento de novas necessidades de comunicação são os principais responsáveis por esta variedade.

Os sistemas de comunicação móvel podem ser agrupados em seis grandes categorias: os sistemas de telefonia sem fio (*cordless telephony*), os sistemas celulares, os sistemas de *paging*, os sistemas de comunicação de dados móvel LAN e WAN e os sistemas de comunicação via satélite.

Com relação à evolução tecnológica e cronológica, têm-se os sistemas de primeira geração, segunda geração e os futuros sistemas de terceira geração. Dentre os sistemas de

primeira geração predominam aqueles com tecnologia analógica. Os sistemas digitais marcam o início da segunda geração e os serviços de comunicação pessoal de voz, dados e multimídia (PCS – *Personal Communication Systems*) são alvo dos sistemas futuros de terceira geração.

As seções 2.8, 2.9 e 2.10 tratam, respectivamente, dos sistemas de comunicação móvel por celular, por *paging* e por satélite.

2.8. SISTEMA DE TELEFONIA CELULAR

A telefonia móvel era utilizada esporadicamente para comunicação marítima e militar durante as primeiras décadas do século passado. Em 1946, foi introduzido o primeiro sistema utilizado em automóveis em St. Louis, nos EUA. Este sistema usava um transmissor no alto de um edifício e tinha um único canal utilizado tanto para enviar como para receber sinais. Para realizar uma conversa, o usuário deveria pressionar um botão que habilitava o transmissor e desabilitava o receptor. Tais sistemas conhecidos como *push-to-talk* foram instalados em diversas cidades no final de década de 50.

Em 1967, o sistema IMTS (*Improved Mobile Telephone Service*) foi introduzido experimentalmente. Este sistema era dotado de um transmissor de alta potência. Permitia realizar operações *full-duplex* (uma frequência para recepção e outra para transmissão), comutação automática e operação entre 150 e 450 MHz com 23 canais de 30 KHz. Devido à pequena quantidade de canais, os usuários normalmente tinham que esperar muito tempo para conseguir sinal de discagem.

Os sistemas IMTS operavam segundo alguns padrões que se formaram ao longo do tempo. Um transmissor potente deveria estar instalado em algum lugar próximo ao centro da área a ser coberta e em local bem elevado para que os sinais recebidos dos terminais móveis estivessem bem acima do nível local de ruído. Para cada canal, a potência de saída do transmissor ficava na faixa de 200 a 250 W. Com o uso de antenas direcionais, no plano vertical, podia-se elevar a potência efetivamente irradiada para cerca de 500 W. Tais sistemas tinham uma área de cobertura com raio de 30 a 40 Km e, embora a esta distância, o nível de sinal recebido no terminal móvel fosse muito baixo, era suficiente para interferir em outro sistema que operasse na mesma faixa de frequências. Desta forma, um sistema tinha que estar afastado dos outros mais de 200 Km e mesmo assim, só os terminais móveis próximos do transmissor central podiam ser considerados livres de interferência.

O grande fator limitador para a expansão dos sistemas sempre foi a escassez de espectro de frequência. Com o espectro disponível até a década de 70, existiam não mais do que 54 canais em todas as faixas de operação, o que não permitia aumentar as dimensões do sistema.

Um conceito amplamente explorado em sistemas celulares é o conceito de reuso de frequências – usuários em diferentes áreas geográficas (diferentes células) podem utilizar canais com a mesma frequência. Este conceito se aplica tanto a sistemas analógicos quanto digitais. O reuso de frequência aumenta drasticamente a eficiência de utilização do espectro disponível, mas apresenta como efeito colateral a interferência co-canal. Essa interferência deve ser considerada quando são planejados os sistemas celulares [Rappaport, 1996].

Um conjunto de células que utiliza todo o conjunto de frequências disponíveis em um sistema celular é denominado de *cluster*. De um *cluster* para outro se tem a reutilização de todo o conjunto de frequências. Para uma geometria didática hexagonal das células, um *cluster* pode possuir um número N de células dado por:

$$N = i^2 + ij + j^2 \quad \text{Equação 4}$$

onde i e j são inteiros não negativos.

Em sistemas celulares o valor de N é escolhido de forma a assegurar uma determinada qualidade de serviço quando o terminal móvel se encontra próximo dos limites de cobertura de uma célula. É importante citar que não existe um limite físico exato para a cobertura de uma determinada célula. O termo limite é utilizado no sentido de identificar as regiões extremas de uma célula com intensidade de sinal tendendo a inoperabilidade do terminal móvel atendido por aquela célula.

Basicamente, existem três tipos de células: as macro-células, as micro-células e as pico-células, classificação esta baseada em seus diâmetros típicos que são, respectivamente, 1 a 30 Km, 200 a 2000 m e 4 a 200 m. O tamanho das células diminui com o crescimento do sistema. Com esse decréscimo no tamanho das células tem-se:

- Aumento na capacidade de atender mais usuários e do número de *handoffs* por chamada;
- Aumento da complexidade para localização do usuário;

- Menor consumo de potência do terminal móvel;
- Diferentes arranjos de células, o que leva a maiores interferências e maior dificuldade de planejamento dos sistemas.

2.8.1. SISTEMAS CELULARES ANALÓGICOS DE PRIMEIRA GERAÇÃO

Os sistemas analógicos de primeira geração foram desenvolvidos para prover serviços de telefonia celular. Dentre eles pode-se citar: NTT, AMPS, TACS, NMT e C450. As características básicas comuns a esses sistemas são: modulação analógica em FM, sinalização feita através de modulação FSK, técnica de acesso FDMA com duplexação FDD, tamanho das células de 0,5 Km a 10 Km, potência de transmissão do terminal móvel de 1 a 8 Watts e reutilização de frequência.

A Tabela 2.2 mostra algumas características operacionais dos sistemas mencionados.

Tabela 2.2 - Sistemas de telefonia celular analógicos

SISTEMA	NTT (Japão)	AMPS (vários países)	TACS (vários países)	NMT (vários países)	C450 (Alemanha)
Frequência de transmissão (MHz)					
Estação rádio base	870 - 885	869 - 894	917 - 950	463 - 467,5	461,3 - 465,74
Terminal móvel	925 - 940	824 - 849	872 - 905	453 - 457,5	451,3 - 455,74
Número de canais	600	832	1320	180	222
Raio de cobertura (Km)	5 a 15	2 a 20	2 a 20	1,8 a 40	5 a 30
Desvio de frequência da modulação digital (KHz)	~ 4,5	~ 8,0	~ 6,4	~ 3,5	~ 2,5
Desvio de frequência da modulação analógica (KHz)	~ 5,0	~ 12,0	~ 9,5	~ 5,0	~ 4,0
Taxa na sinalização	0,3	10	8	1,2	5,28

2.8.2. SISTEMAS CELULARES DIGITAIS DE SEGUNDA GERAÇÃO

Em função da pressão de demanda, particularmente nos EUA, onde o sistema analógico havia atingido o limite de sua capacidade nas maiores áreas metropolitanas, e pela necessidade

de se ter um sistema Pan-Europeu na Europa, foi necessário dar início ao desenvolvimento de sistemas digitais que em princípio, além da maior capacidade, ofereciam as seguintes vantagens sobre os analógicos:

- Técnicas mais poderosas de codificação digital de voz;
- Maior eficiência espectral;
- Melhor qualidade de voz;
- Facilidade de uso de criptografia da informação transmitida.

Os serviços de comunicação de segunda geração são baseados em sistemas de alto desempenho, alguns com capacidade, no mínimo, três vezes superiores à dos sistemas de primeira geração. Caracterizam-se, em geral, pela utilização de tecnologia digital para transmissão tanto de voz quanto de sinalização.

Dentre os sistemas de comunicação celular digitais pode-se destacar os padrões: GSM, DCS-1800, PCS-1900, IS-54 D-AMPS e CDMA IS-95.

O sistema GSM foi desenvolvido com o objetivo de solucionar o problema da fragmentação existente nos primeiros sistemas celulares na Europa e de proporcionar uma série de serviços através da utilização de uma Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI). Sua introdução na Europa foi em 1991 e desde então vários países da América do Sul, Ásia e Austrália têm adotado o GSM e sistemas equivalentes como o DCS-1800.

Outra grande inovação do sistema GSM é o módulo de identificação do usuário, o SIM (*Subscriber Identification Module*) que contém a identificação completa do usuário, chaves de código de privacidade e outras informações específicas sobre o usuário. O SIM pode apresentar-se sob a forma de um cartão de crédito ou de um *plug-in* que é conectado ao terminal GSM. Sem o SIM o terminal fica inoperante.

A privacidade é outra característica marcante no padrão GSM. Isto é possível através da criptografia da sequência de bits do usuário através de uma chave que se altera frequentemente.

Os padrões DCS-1800 e PCS-1900 são baseados na arquitetura de rede do sistema GSM, sendo que o PCS-1900 é o equivalente nos Estados Unidos do padrão GSM.

O padrão IS-54, conhecido como D-AMPS (*Digital AMPS*) é o equivalente digital do sistema analógico AMPS. No sistema D-AMPS cada canal de 30 KHz é compartilhado por três usuários em intervalos de tempo distintos. A capacidade é triplicada em relação ao AMPS. A principal motivação para o desenvolvimento desse sistema foi a possibilidade de transição suave da tecnologia analógica para a digital, ocupando a mesma faixa de frequências. Uma recente variação do padrão IS-54, o IS-136 (anteriormente IS-54 Rev. C), tem as mesmas características do IS-54, diferenciando-se no tipo de modulação utilizada nos canais de controle de forma a elevar a taxa de transmissão nesses canais e prover serviços adicionais tais como *paging* e envio de mensagens curtas entre usuários em grupos privados.

Uma outra evolução do padrão D-AMPS e que se encontra em fase de normalização é o E-AMPS (*Extended AMPS*). Nesse padrão é utilizada alocação dinâmica de canais baseada na atividade da voz, utilizando a técnica DSI (*Digital Speech Interpolation*). Essa técnica pode elevar a capacidade em 15 vezes em relação ao sistema analógico AMPS [Guimarães, 1999].

As principais características técnicas do padrão IS- 54 (D-AMPS) são:

- Método de acesso FDMA/TDMA, com canais de 30 KHz e 3 intervalos de tempo por canal (3 usuários por canal);
- Taxa de transmissão no canal: 48,6 Kbps;
- Complexo processo de gerenciamento temporal.

O padrão IS-95, baseado na tecnologia com espalhamento espectral, (acesso múltiplo, CDMA), foi desenvolvido com o objetivo de possibilitar também a transição suave da tecnologia analógica para a digital. No padrão IS-95 todos os usuários utilizam a mesma faixa de frequências, mesmo aqueles usuários em células adjacentes, sendo que cada canal IS-95 ocupa 1,25 MHz (cerca de 10% da banda disponível para o padrão AMPS). Na prática, as portadoras do sistema AMPS devem prover uma faixa de guarda de 270 kHz (9 canais) em cada lado da faixa dedicada ao IS-95. Os primeiros terminais *dual-mode* (IS-95/AMPS) foram disponibilizados pela Qualcomm em 1994.

A taxa de transmissão no canal do padrão IS-95 é variável em função dos requisitos do terminal e do ciclo de atividade da voz. São possíveis 4 taxas de transmissão: 9600 bps, 4800 bps, 2400 bps e 1200 bps sendo que a transmissão acontece sempre em rajadas de 9600 bps em

cada *frame*. Cada vez que a taxa é reduzida em função da atividade da voz, são gerados intervalos durante os quais a potência de transmissão do terminal é reduzida de no mínimo 20 dB em relação ao período prévio de atividade. Esse procedimento reduz significativamente a quantidade de interferência no sistema, proporcionando um correspondente aumento da capacidade em termos do número médio de usuários ativos.

2.8.3. SISTEMAS CELULARES DE TERCEIRA GERAÇÃO

Mesmo não estando os sistemas de segunda geração ainda totalmente amadurecidos e firmemente estabelecidos, já se trabalha intensamente no desenvolvimento da terceira geração. Este trabalho está sendo liderado mais uma vez pela Europa e patrocinado pela ITU-R e ETSI (*European Telecommunications Standard Institute*). Dentre os objetivos almejados para a terceira geração de sistemas de comunicação móvel celular, espera-se:

- Maximizar a semelhança entre as várias interfaces de rádio;
- Possibilitar operação do tipo *dual-mode* (analógico e digital);
- Permitir mobilidade global ao usuário.

As atividades de normalização em todo o mundo estão girando em torno das propostas: o sistema global IMT-2000 ou FPMTS (*Future Public Land Mobile Telecommunications System*), na Europa o UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) e o MBS (*Mobile Broadband System*) e nos Estados Unidos o PCS (*Personal Communications System*).

O padrão UMTS está sendo elaborado pelo ETSI e pretende ser uma evolução dos sistemas GSM e DCS-1800.

O IMT-2000 está sendo padronizado pelo ITU e pretende ser uma evolução dos padrões GSM, IS-54 e IS-95, nas faixas propostas de 1885 a 2025 MHz e 2110 a 2200 MHz. O objetivo do sistema IMT-2000 é o de unificar diversos sistemas em um único, tendo um terminal móvel mundialmente utilizável. Os serviços propostos incluem voz, multimídia e dados com taxas de 64 Kbps a 2 Mbps, para uso interior e exterior. Pretende-se alcançar desempenho equiparável ao de redes locais fixas.

São várias as configurações possíveis para o sistema PCS, mas pode-se dividi-las em duas categorias [Rappaport, 1996]: os sistemas que permitem altas velocidades de mobilidade e estruturas de macro-células e os sistemas otimizados para baixo consumo, baixa complexidade e baixa velocidade de movimentação. Duas dessas configurações são baseadas em acesso múltiplo híbrido TDMA/CDMA com tecnologia W-CDMA (*Wideband* CDMA) oferecida pela empresa Interdigital. Todos os tipos de modulação estão sendo considerados, inclusive as técnicas FH-SS e DS-SS.

2.8.4. TELEFONIA CELULAR NO BRASIL

No Brasil, a primeira cidade a usar a telefonia móvel celular foi o Rio de Janeiro em 1990. Em 1993 houve a inauguração da telefonia móvel celular em São Paulo e, em novembro deste mesmo ano, a Telesp Celular lança o seu celular digital. Em 17 de novembro de 1997, começa a operar o primeiro serviço celular digital nacional da Banda B em Brasília. Em 19 de maio são ativados os primeiros celulares digitais da região metropolitana de São Paulo. Em 1997, com a abertura de mercado de telefonia móvel, o espectro de frequências foi dividido em duas Bandas: a Banda A (825,03 a 834,99 MHz, abrangendo os canais de 1 a 333) e a Banda B (845,01 a 846,48 MHz, abrangendo os canais de 334 a 666). Ambas as bandas possuem uma faixa expandida que variam para a Banda A de 824,04 a 825,03 MHz, abrangendo os canais de 991 a 1023, e a Banda B de 846,51 a 848,97 MHz abrangendo os canais de 717 a 799, conforme ilustrado na Figura 2.10 [Telesp, 2003].

Figura 2.10 - Canais nas bandas A e B

A faixa de frequências para a Banda C é de 1,8 GHz. As faixas de frequências de 1885 a 1900 MHz, 1950 a 1980 MHz e 2140 a 2170 MHz estão disponibilizadas para a implantação de sistemas de telecomunicações móveis que sigam as especificações IMT-2000 da UIT. O padrão adotado é o GSM e já está sendo implantado em todo o território nacional sendo oferecido pelas operadoras TIM (*Telecom Italia Mobile*) e Oi [Anatel, 2003]. Apesar desta abrangência, as áreas de cobertura ainda não são satisfatórias.

As seis bandas de terceira geração, onde os celulares terão funções avançadas de multimídia e transmissão de vídeo, estarão distribuídas na faixa do espectro de 3,5 GHz.

2.9. SISTEMAS DE PAGING

Os serviços de *paging* são aqueles onde há o envio de pequenas mensagens para um usuário móvel. Estas mensagens podem ser um simples bip, um número ou mensagens alfanuméricas curtas.

Esses serviços têm sido operacionalizados de forma crescente através de sub-portadoras adicionadas a sinais de rádio difusão FM. A recomendação 584 (1982) do CCIR (*International Telegraph and Telephone Consultative Committee*) [Ccir, 2001] define: *Paging* é um sistema de chamada pessoal, seletivo, unidirecional, sem transmissão de voz, com alerta do tipo sem mensagem ou com mensagem numérica ou alfanumérica. Devido ao baixo custo, esse tipo de serviço tem sido utilizado por um número expressivo de usuários.

Os dois principais padrões para os serviços de *paging* são o POCSAG (*Post Office Code Standard Advisory Group*) e o ERMES (*European Radio Message Service*).

O *hardware* utilizado no padrão POCSAG consiste em um *chip* receptor, um *chip* decodificador, um microcontrolador, memória, um módulo *display* de cristal líquido e um circuito de temporização (*clock*). Seu consumo é extremamente pequeno e permite operação a 1,5 volts. Os *paggers* (terminais de *paging*) digitais operam na faixa de frequências VHF e UHF (25 a 512 MHz).

O padrão ERMES é um padrão europeu para serviços de *paging* desenvolvido pela ETSI e que começou a operar em fevereiro de 1996. Utiliza uma rede terrestre de estações rádio-base transmitindo em 16 canais na faixa de 169 a 170 MHz. A largura de faixa de cada canal é de 25

kHz. A modulação utilizada é do tipo 4-PAM FM (4FSK) a 6,25 Kbps. O *pager* precisa somente “ouvir” um canal por vez.

No padrão ERMES, 30 bits formam uma palavra código que é transmitida em 4,8 ms. Desses 30 bits, 18 carregam os dados do usuário e os 12 restantes são utilizados para a detecção e a correção de erros.

2.10. SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MÓVEL VIA SATÉLITE

Há mais de quatro décadas são utilizados satélites em sistemas de comunicação. Os satélites de comunicação foram os primeiros utilizados comercialmente para prover serviços de transmissão de rádio, TV, telefonia e dados sendo a sua utilização em sistemas de radiodifusão de televisão a aplicação mais comum. No entanto, o uso de satélites em comunicação de dados também não é uma aplicação muito recente, pois desde o início da Internet, as primeiras conexões intercontinentais já usavam enlaces de satélites.

A comunicação via satélite consiste, basicamente, em usar como meio de interligação entre dois ou mais pontos, um ou vários satélites artificiais. Esses satélites podem estar estacionados ou não na órbita terrestre, recebendo e transmitindo os sinais das antenas situadas na Terra.

Esses sistemas são usados para comunicação a longas distâncias, onde obstáculos impedem uma vista direta entre os pontos e onde o uso de numerosos repetidores terrestres tornaria o sistema inviável.

2.10.1. ÓRBITAS DOS SATÉLITES

Os satélites são mantidos em percurso circular ou elíptico em torno da Terra pela atração da gravidade. Uma órbita pode estar a qualquer altura ou variar de altura com relação à superfície da Terra e manter qualquer ângulo em relação ao equador. Porém, o plano da órbita sempre corta o centro da Terra, pois o campo gravitacional atrai tudo na direção do centro.

A maioria dos satélites de comunicações está em órbita alta geoestacionária (ou geossíncrona). Alguns satélites científicos ficam em órbitas baixas, os de navegação estão em órbitas circulares médias e os satélites de pesquisa de recursos da Terra e alguns meteorológicos usam órbitas polares. A maioria dos satélites fica a uma distância constante da Terra, mas outros

se aproximam mais da Terra em parte da órbita (o ponto mais próximo é chamado perigeu) e depois se distanciam (o ponto mais distante é chamado apogeu). Esses satélites estão em órbita elíptica (HEO – *Highly Elliptical Orbit*). Os satélites russos Molinya de comunicações que servem regiões distantes do Equador executam esse tipo de órbita.

Um satélite em órbita polar segue um percurso que passa sobre os pólos Norte e Sul. Como a Terra gira de leste para oeste, o satélite acaba por observar quase toda a superfície da Terra. Com uma escolha exata da órbita, o satélite passa pelo mesmo ponto da Terra na mesma hora do dia, de forma que imagens constantes dessa área podem ser comparadas. Esta órbita é chamada síncrona do Sol.

A Figura 2.11 ilustra a classificação dos satélites de acordo com a órbita que executam ao redor da Terra.

Figura 2.11 - Classificação dos satélites quanto ao tipo de órbita

2.10.1.1. ÓRBITA GEOESTACIONÁRIA (GEO)

Há quase 200 satélites na órbita mais usada, a órbita geoestacionária (GEO – *Geostationary Earth Orbit*). A uma altura de aproximadamente 35.600 km sobre a linha do Equador, um satélite leva o mesmo tempo que a Terra para girar sobre seu eixo e completar uma órbita. Assim, o satélite ficará sempre sobre o mesmo lugar do Equador, ou seja, permanecerá estacionário com relação à Terra. Essa parte do arco equatorial é denominada geossíncrona. Os satélites geossíncronos também são conhecidos como satélites de órbita alta.

A vantagem dessa órbita é que os receptores não precisam ser movidos para localizar o satélite. Nas outras órbitas, as estações terrestres precisam mover os receptores para apontar para os satélites. Os satélites de comunicações foram sugeridos pela primeira vez pelo escritor de

ficção científica Arthur C. Clarke, em 1945, 12 anos antes de ser lançado o primeiro satélite do mundo, o Sputnik. As posições e frequências de rádio usadas na órbita geoestacionária são controladas por acordo internacional. Os satélites dessa órbita ficam no mínimo a 70 km de distância entre si e usam frequências diferentes para não haver interferências.

2.10.1.2. ÓRBITA TERRESTRE BAIXA (LEO)

Os satélites de órbita baixa (LEO – *Low Earth Orbit*) também conhecidos por satélites de órbita polar circulam em torno da Terra rastreando a superfície do planeta de um pólo a outro para aplicações em sensoriamento remoto, recepção e retransmissão de dados etc. Eles estão em órbita da Terra, porém com velocidade de rotação diferente. Para a comunicação com este tipo de satélite, é necessária a utilização de antenas móveis para acompanhar o seu movimento.

As órbitas terrestres baixas podem ser alcançadas com uma quantidade mínima de energia. São, assim, mais acessíveis para cargas mais pesadas. Os ônibus espaciais e a estação espacial Mir viajam nessas órbitas e dão várias voltas em torno da Terra por dia. As órbitas da Mir variam entre 300 e 400 km acima da Terra. A nave circula o globo a cada 90 minutos, ou cerca de 16 vezes por dia. Visto da Terra, um satélite em órbita baixa se move lentamente pelo céu.

2.10.1.3. ÓRBITA TERRESTRE MÉDIA (MEO)

Os satélites de órbita MEO (*Middle Earth Orbit*) localizam-se na faixa de 9.800 a 20.500 Km de altura da superfície terrestre. Redes de satélites do tipo MEO requerem mais satélites do que as redes GEO e menos do que as redes LEO para cobrir a mesma área.

2.10.2. EQUIPAMENTOS PARA COMUNICAÇÃO POR SATÉLITE

Os satélites são compostos de muitas partes, mas duas são essencialmente comuns a todos: o *payload* e o bus.

O *payload* é formado por todos os equipamentos necessários para que o satélite realize seu trabalho, ou seja, antenas, câmeras, radar e dispositivos eletrônicos. O *payload* é diferente para cada satélite. Os satélites usados para meteorologia incluem câmeras para fotografar a formação das nuvens e os satélites de comunicação de TV incluem grandes antenas.

O *bus* é a parte do satélite que sustenta todo o *payload* mantendo-o no espaço. Ele fornece energia, computadores e equipamentos que permitem a comunicação do satélite com a Terra.

Os equipamentos que se localizam na Terra são chamados de *gateways*. Os *gateways* são responsáveis por fazer a conexão entre o sistema de satélites e a rede de telefonia fixa ou móvel. Fazem a transmissão e recepção de sinais de satélites, com topologia redundante, que perfazem o rastreamento dos satélites que cruzam a linha do horizonte dentro de sua área de atuação.

2.10.3. FUNCIONAMENTO DE SATÉLITES

Um satélite nada mais é do que um repetidor de microondas no espaço. Circuitos eletrônicos no satélite recebem sinais transmitidos da estação terrena. Os sinais são fracos devido à distância e precisam ser ampliados por LNAs (*Low Noise Amplifiers*) contidos no satélite. Os sinais são alterados para uma nova frequência e são retransmitidos de volta à Terra.

Ao conjunto receptor, translador de frequência e transmissor, é dado o nome de *transponder*.

As bandas de frequência são divididas em um número de canais de rádio. Esses sinais de rádio são enviados em cada canal, assim como ocorre nas transmissões de microondas terrestres. Cada canal de rádio precisa ter o seu próprio *transponder*. O satélite precisa ter um número de *transponders* suficientes para cobrir toda a frequência de banda designada para ele. Tipicamente, os satélites de comunicação mais modernos possuem 24 *transponders*.

A energia é obtida através de painéis solares que captam e armazenam energia em baterias para períodos de eclipses. O satélite é monitorado da Terra e através de sinais de telemetria enviam informações de como os seus circuitos estão funcionando. Essas informações serão usadas para diagnosticar a situação, e em consequência o controle terrestre enviará comandos para reposicionar o satélite, ligando e desligando circuitos dos *transponders*.

As seguintes figuras representam duas configurações comuns para comunicações via satélite. Na Figura 2.12, o satélite é usado para proporcionar uma ligação ponto-a-ponto entre duas bases terrestres distantes.

Figura 2.12 - Link ponto-a-ponto via satélite

Na Figura 2.13, o satélite proporciona comunicações entre uma base terrestre de transmissão e um número de bases terrestres de recepção.

Figura 2.13 - Link de broadcast via satélite

2.10.4. FREQUÊNCIAS QUE OCUPAM NO ESPECTRO

O conceito de banda na classificação dos satélites envolve a faixa de frequência tanto para o *uplink* (caminho percorrido pelas ondas eletromagnéticas da Terra até o satélite) quanto para o *downlink* (caminho das ondas do satélite para a Terra). O *downlink* e o *uplink* possuem frequências diferentes a fim de não causar interferência mútua. As principais bandas utilizadas em sistemas de comunicação por satélite estão descritas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Faixas de frequência e suas características

Banda	Frequências (GHz)	Downlink (GHz)	Uplink (GHz)	Características
C	4 – 8	3,7 – 4,2	5,925 – 6,425	Interferências terrestres
Ku	11 – 14	11,7 – 12,2	14,0 – 14,5	Chuva
Ka	20 – 30	17,7 – 21,7	27,5 – 30,5	Chuva e custo dos equipamentos
L	1 – 2	1,670 – 1,695	3,7 – 4,2	N/A
S	2,7 – 3,5	2,290 – 2,300	2,110 – 2,120	N/A
X	8 – 12	8,400 – 8,450	7,145 – 7,190	N/A

A banda C engloba as faixas de frequência de 3,7 a 4,2 GHz e de 5,925 a 6,425 GHz, designadas como frequências para a transmissão no sentido satélite-Terra (*downlink*) e Terra-satélite (*uplink*), respectivamente [Tanenbaum, 1996]. Esta banda está disponível para aplicações comerciais e já está congestionada. Um satélite amplifica o sinal de 6 GHz que recebe de uma estação terrestre e o transla para 4 GHz, transmitindo-o então, de volta para a Terra. Os satélites nessa banda estão atualmente espaçados cerca de 2.880 km (um ângulo de 4 graus visto da Terra). Os satélites para retransmissão de sinais de TV devem estar separados 5.760 Km entre eles (ou 8 graus) devido à sua alta potência.

A banda *Ku*, cujo espectro de frequências varia entre 11 e 14 GHz, está disponível para telecomunicações e os satélites podem estar a apenas 1 grau de distância entre eles devido a alta frequência [Tanenbaum, 1996]. Utilizando frequências altas é possível aumentar as potências transmitidas, aumentando a relação sinal/ruído e diminuindo a probabilidade de erro. Por outro lado, o comprimento de onda correspondente a tais frequências é da mesma ordem de tamanho de gotas de chuva e partículas de neve. Uma onda de frequência muito alta, propagada através da atmosfera terrestre, pode ser perturbada seriamente por tais obstáculos aumentando a probabilidade de erro. Uma vez que o tipo e a extensão de atmosfera a ser atravessada é diferente de uma estação terrestre para outra, devido a sua posição geográfica, diferentes estações terrestres podem experimentar diferentes probabilidades médias de erros. Além disso, a probabilidade de erro experimentada por uma estação terrestre é bastante dependente das condições locais do clima.

A banda *Ka*, além de possuir a interferência da chuva utiliza uma banda de alta faixa de frequência. Por este motivo, os equipamentos utilizados para esta banda são muito caros e de difícil desenvolvimento já que pequenas capacitâncias influenciam o circuito severamente.

2.10.5. DIVISÃO EM CANAIS

Um satélite típico divide sua banda de 500 MHz por doze *transponders*, cada um com uma banda passante de 36-50 MHz. Cada *transponder* pode ser utilizado para codificar um único fluxo de dados de 50 Mbps, 800 canais digitais de voz de 64 Kbps e diversas outras combinações. Dois *transponders* podem usar polarizações diferentes, podendo assim, usar a mesma faixa sem interferência [Tanenbaum, 1996].

2.10.6. TRANSMISSÃO DE SINAIS

Os sinais recebidos das estações terrestres são difundidos pelo satélite numa área geográfica pré-definida. A escolha do tamanho e da posição da área a ser atingida na superfície terrestre resulta de vários fatores como, por exemplo, a potência a bordo do satélite, o diâmetro da antena terrestre, considerações políticas etc. A transmissão em alta frequência permite a utilização de taxas de transmissão muito altas, na ordem de centenas de megabits por segundo (Mbps) [Tanenbaum, 1996]. Para compartilhar esta capacidade entre os usuários, são utilizadas as técnicas FDMA e TDMA detalhadas na seção 2.5. Em qualquer caso, os sistemas de satélite são projetados para oferecer altas taxas de transmissão aos seus usuários.

Os satélites de telecomunicações colocados numa órbita geoestacionária possuem atrasos entre 240 e 280 milisegundos, dependendo da latitude e da longitude da estação terrestre. Além disso, outros atrasos inseridos pelos equipamentos terrestres levam a um valor de retardo da ordem de 300 milisegundos. Como resultado disso, a quantidade de informações trafegando no canal, supondo-se um canal de satélite operando a 2 megabits por segundo, é de 600 mil bits.

O sinal enviado por qualquer estação terrestre pode ser recebido por qualquer outra estação terrestre. Isso permite a construção de canais multi-destinatários, a um baixo custo. A transmissão de uma mensagem independe da distância percorrida. Uma chamada intercontinental não custa mais para ser mantida do que uma chamada para o outro lado da rua.

A habilidade de adquirir uma banda passante imensa por períodos pequenos de tempo é atraente devido à natureza em rajadas do tráfego de dados entre computadores. Enviar os dados de uma fita magnética em uma linha telefônica de 56 Kbps leva 7 horas; enviar a mesma fita usando um único *transponder* de satélite de 50 Mbps leva 30s.

2.10.7. SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MÓVEL VIA SATÉLITE EXISTENTES

Os serviços de comunicação móvel via satélite e alguns dos correspondentes sistemas podem ser agrupados nas seguintes categorias:

- Serviços de faixa estreita: para telefonia ou comunicação de dados;
- Serviços de faixa larga: para sistemas multimídia;
- Serviços de navegação: para posicionamento global.

A Tabela 2.4 apresenta alguns dos sistemas de comunicação via satélite existentes.

Tabela 2.4 - Sistemas de comunicação móvel via satélite

Sistema	Órbita	Utilização	Brasil?
Archimedes	HFO	Sistemas <i>broadband</i> para transmissão de vídeo e áudio digitais.	Não
Aries	LEO	Transmissão de dados em baixa velocidade.	Não
Astrolink	GEO	Sistemas multimídia e transmissão de dados em alta velocidade.	Não
BrasilSat	GEO	Sistemas multimídia e transmissão de dados em alta velocidade.	Sim
CyberStar	GEO	Sistemas multimídia e transmissão de dados em alta velocidade.	Não
Elipso	MEO	Telefonia móvel e transmissão de dados em baixa velocidade. Consórcio entre as redes de satélites ICO e Teledesic patrocinado pela Boeing.	Não
EuroSkyWay	GEO	Sistemas multimídia e transmissão de dados em alta velocidade.	Não
GlobalStar	LEO	Telefonia móvel e transmissão de dados em baixa velocidade (9,6 Kbps).	Sim
Glonass	MEO	Posicionamento global (europeu).	Não
GPS	MEO	Posicionamento global (americano).	Sim
Inmarsat	GEO	Telefonia móvel e transmissão de dados em baixa velocidade.	Sim
Iridium	LEO	Telefonia móvel e transmissão de dados em baixa velocidade (2,4 Kbps).	Sim
KaStar	GEO	Sistemas multimídia e transmissão de dados em alta velocidade.	Não
MSAT	GEO	Telefonia móvel e transmissão de dados em baixa velocidade.	Não
M-Star	LEO	Sistemas multimídia e transmissão de dados em alta velocidade.	Não
Odyssey	MEO	Telefonia móvel e transmissão de dados em baixa velocidade (9,6 Kbps).	Não
Orbcomm	LEO	Transmissão de dados em baixa velocidade e posicionamento global.	Sim
PanAmSat	GEO	Sistemas multimídia e transmissão de dados em alta velocidade.	Sim
SkyBridge	LEO	Sistemas multimídia e transmissão de dados em alta velocidade (60 Mbps).	Não
Spaceway	GEO	Sistemas multimídia e transmissão de dados em alta velocidade (6Mbps).	Não
Teledesic	LEO	Sistemas multimídia e transmissão de dados em alta velocidade (2 Mbps).	Não
VSAT	GEO	Transmissão de dados em baixa velocidade, informações climáticas e posicionamento global.	Sim

Muitos dos sistemas citados ainda estão em fase de planejamento e, dentre aqueles já implantados, os sistemas VSAT, Inmarsat, GlobalStar, Iridium e GPS são os mais populares.

A seguir, são detalhados alguns dos sistemas mais utilizados e outros que são bastantes polêmicos devido à ousadia de seus projetos.

REDES VSAT

Os VSATs (*Very Small Aperture Terminals*) são pequenas estações de satélite transportáveis, normalmente conectadas a uma rede VSAT. O tamanho da antena VSAT é de aproximadamente 2,4 m. Com o desenvolvimento de satélites operando na faixa de 20 ou 30 GHz, é possível reduzir o tamanho das antenas VSAT, sendo que os chamados pico-terminais portáteis podem possuir antenas de 10 a 20 cm de diâmetro, com capacidade de tráfego reduzida mas que pode permitir a transmissão de voz codificada a cerca de 4,8 Kbps.

As redes VSAT são formadas por diversos terminais e satélites. Normalmente existe uma estação de maior porte, chamada de *hub-station* que pode ser utilizada como estação intermediária e para o controle da rede. O acesso pode ser do tipo híbrido FDMA/CDMA.

Os sistemas VSAT são adequados para transmissão de dados a taxas até 64 Kbps e suas principais aplicações incluem coleta de informações climáticas e serviços para transporte rodoviário. O provedor de sistemas VSAT no Brasil é a empresa italiana Telespazio.

INMARSAT

O sistema Inmarsat é um consórcio formado por 79 países. Iniciou sua operação em 1982 para prover comunicação marítima e posteriormente comunicações aeronáuticas e terrestres.

O sistema consiste em uma rede de nove satélites em órbita geostacionária, sendo que quatro cobrem quase todo o globo terrestre (aproximadamente 98%). Os demais, de reserva, estão posicionados na linha do Equador cada um deles cobrindo uma região oceânica (Pacífico, Índico, Atlântico Oeste e Atlântico Leste). Existe uma rede de 40 estações terrestres espalhadas em 31 países, sendo que uma delas encontra-se no Rio de Janeiro.

Os satélites que cobrem o Brasil são o Atlântico Oeste localizado a 54° Oeste e o Atlântico Leste localizado a 15,5° Oeste, ambos sendo visíveis ao aparelho do usuário. Os principais serviços oferecidos são: voz, fax, telex e dados (até 64 Kbps). Alguns exemplos de

serviços oferecidos pelo sistema Inmarsat são: Aero-C, Aero-M, e o Inmarsat-C. O Aero-C e o Inmarsat-C possuem baixo custo e baixo consumo de energia. Todos esses permitem envio e recebimento de mensagens e são adequados para pequenas embarcações por possuir porte reduzido. Os serviços Inmarsat estão em pleno funcionamento sendo oferecidos no Brasil pela Embratel, ControlSat, Arycom, Telenor entre outras empresas.

GLOBALSTAR

A GlobalStar é formada por um consórcio internacional, composto pelas principais companhias aeroespaciais e de telecomunicações, que se juntaram para criar um sistema de 52 satélites capaz de proporcionar um serviço telefônico móvel para praticamente todos os lugares do mundo. Com investimentos globais da ordem de US\$ 3 bilhões, o projeto GlobalStar foi viabilizado a partir da formação de alianças entre parceiros mundiais e empresas locais, em mais de 100 países.

A GlobalStar do Brasil é uma empresa de telefonia móvel e fixa via satélite voltada para o mercado nacional. Atualmente, oferece serviço inteligente de telefonia capaz de garantir comunicação em qualquer lugar do Brasil. A empresa é vinculada ao consórcio mundial da GlobalStar que reúne, entre outras companhias, a Loral SpaceCom e a Daimler Chrysler Aerospace, que juntas formam a *joint venture* que detém a maioria do capital da GlobalStar do Brasil. O investimento na GlobalStar do Brasil foi de US\$ 180 milhões [GlobalStar, 2003].

BRASILSAT

O BrasilSat, primeiro satélite brasileiro, foi lançado em 8 de fevereiro de 1985. Está operando em uma órbita inclinada a 63 graus de longitude oeste a aproximadamente 36.000 Km de altitude da Terra. Cada *transponder* oferece uma largura de banda de 36 MHz e cada canal tem 10 W de potência.

O satélite tem 28 *transponders* na banda C para comunicação civil, cobrindo a região leste, e um *transponder* na banda X, para uso militar. A potência da banda X é suficiente para cobrir toda a região do Atlântico Sul, da costa da África até uma parte da Antártica. Cada *transponder* pode ser ocupado por 6 canais de TV, além de possibilitar até 2 mil ligações telefônicas simultâneas e milhares de canais de comunicação de dados.

No Brasil, a Star One, que é uma empresa da Embratel, é provedora de serviços que utilizam a rede de satélites BrasilSat.

ORBCOMM

O Orbcomm é o primeiro sistema comercial a oferecer serviços de comunicação sem fio para transmissão de dados de maneira bi-direcional. Utiliza satélites de órbita baixa (LEO) para prover o melhor custo-benefício em qualquer lugar do mundo. Semelhante aos sistemas de e-mail, o sistema é capaz de enviar e receber pacotes alfa-numéricos de dados. Essas mensagens aumentam a eficiência das operações remotas dos usuários fazendo com que informações críticas estejam disponíveis quando necessário [Orbcomm, 2003].

A rede de satélites Orbcomm está sendo amplamente utilizada em sistemas de rastreamento de veículos onde é necessário transmitir apenas pequenas mensagens. O provedor de serviços no Brasil é a empresa italiana Telespazio.

PANAMSAT

É o maior satélite de comunicações já lançado. Composto por um Boeing 702, dotado de 72 *transponders* localizado a 45 graus Oeste sobre a linha do equador, a 36 mil quilômetros de altitude, quase sobre a divisa Pará-Maranhão. Esse satélite é conhecido por PAS-1R e já está em operação interligando o Brasil e a América Latina aos EUA, à Europa e à África.

A PanAmSat atua no Brasil há alguns anos em serviços eventuais e na retransmissão das duas maiores redes de TV por assinatura via satélite: Sky e DirecTV. Atualmente, está oferecendo serviços de voz, dados e vídeo, cobrindo especificamente comunicação de dados e Internet de alta velocidade, videoconferência, serviços de telemedicina, *broadcast*, telefonia e outros. Os serviços de comunicação de dados de alta velocidade podem chegar à taxa de 45 Mbps. A Telespazio do Brasil é a empresa que provê serviços dos satélites PanAmSat.

IRIDIUM

Originalmente planejado para 77 satélites (número de elétrons do elemento iridium), o sistema Iridium hoje tem lançados um total de 66 satélites de órbita baixa (LEO). Nesse sistema, os satélites podem comunicar-se entre si e com os terminais terrestres. A idéia foi inicialmente concebida pela empresa Motorola, mas foram formados consórcios em todo o mundo para o desenvolvimento e a implantação do sistema [Iridium, 2003].

A cobertura do sistema Iridium é global e uma chamada pode iniciar e terminar pela ação do próprio sistema, apesar de terem sido instalados *gateways* em vários países que permitem interconectividade com os sistemas de comunicação terrestre. No Brasil, um *gateway* foi instalado no Rio de Janeiro.

Os terminais do sistema Iridium são *dual-mode* e, além dos serviços de voz, são oferecidos serviços de fax e transmissão de dados com taxas de até 9600 bps.

O sistema Iridium foi inaugurado em 1998, mas devido aos altos custos dos equipamentos e serviços, não obteve grande sucesso. A Iridium LCC abriu concordata em agosto de 1999 com uma dívida de US\$ 1,5 bilhões. Atualmente, o controle mundial da rede de satélites Iridium é da Motorola e os serviços de comunicação estão temporariamente desabilitados.

TELEDESIC

O sistema Teledesic, apoiado por Bill Gates e Craig McCaw, é o mais complexo e caro sistema de comunicação global até hoje concebido. Planejado originalmente para ter 840 satélites, a constelação está hoje reduzida a aproximadamente 288 satélites que ocuparão uma órbita circular a 700 Km de altitude (LEO).

Estes satélites estarão dispostos em 12 órbitas polares, com 24 satélites em cada. Formarão uma espécie de Internet no espaço. Um ponto na Terra transmitirá para um satélite, que transmitirá para outro e assim por diante, até chegar ao destino final. Estima-se cerca de 20 milhões de usuários em todo o mundo [Guimarães, 1999].

Como no Iridium, os satélites do sistema Teledesic se comunicam entre si e a Terra utilizando a banda *Ka* do espectro. Estão sendo planejados canais com taxas variáveis que vão desde 16 Kbps a 1,24 Gbps.

A previsão de funcionamento dos serviços do sistema Teledesic é a partir de 2005 [Teledesic, 2003].

SISTEMA GPS

O sistema GPS foi desenvolvido para o Departamento de Defesa dos EUA (DOD – *Department of Defence*). Apesar de haver milhões de usuários civis em todo o mundo, o sistema tem caráter essencialmente militar. É o próprio DOD quem controla o sistema GPS. Através dos sinais recebidos e processados pelos terminais GPS, pode-se computar a posição em três dimensões (latitude, longitude e altitude) e também a hora local do terminal. A constelação de satélites do sistema GPS é composta por 24 satélites de órbita baixa. Cada satélite descreve uma órbita completa em torno da Terra em 12 horas. Desses 24 satélites, um número de 5 a 8 pode estar com visada direta pelo terminal GPS. O sistema conta ainda com uma rede de controle central localizada na base aérea Falcon AFB, no Colorado, EUA. Esta rede de controle tem a função de corrigir periodicamente a órbita e o relógio interno de cada satélite.

A Tabela 2.5 mostra as principais características dos sistemas de comunicação móvel via satélite utilizados no Brasil e que oferecem serviços de transmissão de dados. Alguns exemplos de terminais móveis para comunicação via satélite são mostrados na Tabela 2.6. Já na Tabela 2.7 são mostrados alguns *modems* para transmissão de dados utilizando essa mesma tecnologia.

Tabela 2.5 - Características de alguns sistemas de comunicação móvel via satélite

Sistema	BrasilSat	Inmarsat	GlobalStar	Orbcomm	Iridium
Órbita	GEO	GEO	LEO	LEO	LEO
Comunicação	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital
Cobertura	América Latina	Global	Global	Global	Global
Taxa de transmissão de dados	64 Kbps	64 Kbps	9.6 Kbps	2.4 Kbps	2.4 – 10 Kbps
Frequências	5.925 – 6.425 GHz (<i>uplink</i>) 3.7 – 4.625 GHz (<i>downlink</i>)	1,6 GHz	5.091 – 5.250 GHz na banda C (<i>uplink</i>) 6.875 – 7.055 GHz na banda C (<i>downlink</i>)	148 – 150 MHz (<i>uplink</i>) 137 – 138 MHz (<i>downlink</i>)	19.4 – 19.6 GHz na banda Ka (<i>uplink</i>) 29.1 – 29.3 GHz na banda Ka (<i>downlink</i>)
Método de Acesso	FDMA / TDMA	FDMA	CDMA / FDMA	TDMA	FDMA / TDMA
Atraso de propagação	500 ms (ida e volta)	500 ms (ida e volta)	~10 ms	~10 ms	~10 ms
Bidirecional?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Acesso à rede fixa?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Constelação	4 (B1, B2, B3 e B4)	10 – 2 de reserva	48 + 8 de reserva	36	66 + 6 de reserva
Gateways	28	12	100 a 210	14	11
Altitude de órbita	36.000 Km	36.000 Km	1.410 Km	825 Km	780 Km
Lançamento	1985	1985	1997	1997	1998
Operação	1985	1988	1998	1997	1998
Banda	C e X	L e C	L e S	VHF e UHF	Ka e L
Provedores no Brasil	Embratel (<i>Star One</i>)	Embratel, ControlSat, Telenor, Radiomar, Arycom e outros	GlobalStar do Brasil	Telespazio	Inepar (fora de operação)

Tabela 2.6 - Terminais para comunicação móvel via satélite

	GSP1650	TT-3024A	TT-3068A (Satellite Data Unit) + TT-5006A (antena)	TT-3022C (aparelho) + TT-5006A (antena)
Comunicação	GlobalStar	Inmarsat Aero-C	Inmarsat Aero-M	Inmarsat C
Provedor	GlobalStar do Brasil	ControlSat e Arycom	ControlSat e Arycom	ControlSat e Arycom
Serviços prestados	Voz, dados, fax, <i>paging</i> e localização geográfica	Dados e localização geográfica	Voz, dados e fax	Dados, fax e localização geográfica
Custo do serviço	Assinatura mensal: de R\$ 119,00 a 599,00	US\$ 0,220 a cada 256 bits	US\$ 0,220 a cada 256 bits	US\$ 0,294 a cada 256 bits
Custo do aparelho	R\$ 2.490,00	€ 2.550,00	€ 3.200,00	€ 2.225,00
Dimensões da antena (C x L x A)	Não possui antena	274 x 98 x 144 mm	150 x 560 x 124 mm	150 x 560 x 124 mm
Peso da antena	Não possui antena	750g	2,2 Kg	2,2 Kg
Dimensões do aparelho (C x L x A)	48 x 57 x 177 mm	320,5 x 57,15 x 207,6 mm	Dimensões de um <i>notebook</i>	180 x 50 x 165 mm
Peso do aparelho	370 g	2,5 Kg	2,2 Kg	1,3 Kg
Temperatura	-10° C a 55° C	-20° C a 55° C	-25° C a 55° C	-25° C a 55° C
Duração da bateria	3,5 horas de conversação e 9 horas em <i>standby</i>	N/A	N/A	N/A
Taxa de transmissão de dados	Até 9600 bps	Até 600 bps	Até 2400 bps	Até 600 bps
Métodos de acesso	CDMA / AMPS	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA
Características técnicas / Observações	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Possui um receptor GPS; • Interface RS422/423 para transmissão de dados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interface RS423 para transmissão de dados; • Interface RS232. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interface serial EIA-422; • Interface paralela RS410.

Tabela 2.7 - Modems para comunicação móvel via satélite

Produto	GBR3620	GSP-1620 [Satlogitel, 2003]	KX-G7100 / KX-G7101 [Panasonic, 2003]	Q1200	Q1500
Comunicação	Satélites GlobalStar e Internet	Satélites GlobalStar e Internet	Satélites Orbcomm	Satélites Orbcomm e Internet	Satélites Orbcomm
Fabricante	Qualcomm	Qualcomm	Panasonic	Quake Wireless Inc.	Quake Wireless Inc.
Custo da placa	RS 2.490,00	US\$ 700,00	US\$ 600,00	US\$ 200,00	US\$ 300,00
Dimensões (C x L x A)	245 x 100 x 40 mm	190 x 75 x 17 mm	220 x 90 x 33 mm	230 x 66 x 18 mm	230 x 66 x 18 mm
Peso	1250 g	Menos de 180 g	680 / 720 g	227 g	227 g
Tamanho da antena (A x base)	130 x 90 mm	63 x 103 mm	N/A	N/A	N/A
Peso da antena	N/A	Menos de 250 g	N/A	N/A	N/A
Temperatura	-20° C a 80° C	-30° C a 60° C	-40° C a 75° C	-30° C a 60° C	-30° C a 85° C
Taxa de transmissão de dados	9,6 Kbps (ambos os sentidos)	9,6 Kbps (ambos os sentidos)	2,4 Kbps (<i>uplink</i>) 4,8 Kbps (<i>downlink</i>)	2,4 Kbps (<i>uplink</i>) 4,8 Kbps (<i>downlink</i>)	2,4 Kbps (<i>uplink</i>) 4,8 Kbps (<i>downlink</i>)
Método de acesso	CDMA	CDMA	N/A	N/A	N/A
Características técnicas / Observações	<ul style="list-style-type: none">▪ TCP/IP sobre PPP;▪ Interface: porta serial RS232.	<ul style="list-style-type: none">▪ <i>IP Packet Data over PPP</i> ou <i>Asynchronous Circuit Switched Data</i>;▪ Conexões seguras com VPN;▪ <i>Short Messaging Service</i> (SMS);▪ Autenticação e criptografia.	<ul style="list-style-type: none">▪ Interface: porta serial RS232C;▪ Memória <i>flash</i> programável de 128 Kbytes.	<ul style="list-style-type: none">▪ 1 porta serial de interface com o satélite;▪ 1 porta serial comum;▪ Baixo consumo de energia (70 mA em <i>standby</i>);▪ Ferramentas para programação em C.	<ul style="list-style-type: none">▪ 2 portas seriais RS232.

2.10.8. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA COMUNICAÇÃO VIA SATÉLITE

Alguns satélites de comunicação oferecem serviços de transmissão de dados em velocidades muito altas e a distâncias bastante longas. Com a redução do custo, tamanho e potência necessários e devido aos constantes avanços da microeletrônica, tornou-se possível criar equipamentos com uma estratégia de difusão mais sofisticada. Cada transmissão para a Terra pode ser focalizada em uma área geográfica pequena, de modo que múltiplas transmissões do satélite e para o satélite possam ocorrer simultaneamente.

As vantagens da utilização de satélites são:

- Segurança e confiabilidade: pessoas não autorizadas não conseguem decodificar o código;
- Grande largura de banda disponível;
- Facilidade de utilização em comunicação móvel;
- Custo efetivo: transmissões de dados via satélite a longas distâncias apresentam custo mais baixo que transmissões utilizando outros meios de comunicação como, por exemplo, o sistema de telefonia fixa ou celular. O custo de um canal independe da distância entre os pontos que integram a rede. A multiplexação dos dados permite a recuperação dos mesmos independentemente de sua localização geográfica;
- Alta disponibilidade;
- Cobertura de grandes áreas e de regiões não atendidas por sistemas terrestres devido a baixas densidades populacionais ou a dificuldades geográficas;
- Qualidade de transmissão;
- Flexibilidade de instalação e mudança de área;
- Superação de obstáculos naturais;
- Alta capacidade de transmissão *broadcast*.

As desvantagens são:

- Atraso na propagação (mais comum aos satélites geostacionários);
- Atenuação por chuva;
- Interferências solares e de outros sistemas;
- Congestionamento.
- Distorção não linear;
- Grande atenuação do espaço livre.

De acordo com o tipo de órbita realizada pelos satélites, também existem vantagens e desvantagens. A Tabela 2.8 apresenta uma comparação entre os satélites de órbita geostacionária (GEO) e os de órbita baixa (LEO).

Tabela 2.8 - Vantagens e desvantagens de satélites GEO e LEO

Satélites	Vantagens	Desvantagens
GEO	<ul style="list-style-type: none">• Sinal sempre disponível dentro do raio de atuação do satélite;• 4 satélites são suficientes para cobertura global;• Privilegia aplicações como serviços fixos e <i>Direct to Home</i>;• Maturidade tecnológica.	<ul style="list-style-type: none">• Preço elevado;• Baixas taxas de transmissão de dados;• Estratégias de detecção de erros e retransmissão são difíceis de serem utilizadas;• Atraso de 250 ms em um sentido (ruim para comunicação de voz);• Não provê boa cobertura em altas latitudes (80 graus) ou em áreas altamente urbanizadas em médias latitudes (40 graus).
LEO	<ul style="list-style-type: none">• Equipamentos e comunicação mais baratos;• Maior confiabilidade ao usuário, pois as zonas de sombra são reduzidas;• Menor retardo na transmissão;• Tamanho reduzido das antenas e do aparelho móvel;• Sistema é menos sensível à falha de um satélite;• Necessita de menos potência dos transmissores (tanto dos satélites como dos terminais móveis);• Cobertura mundial.	<ul style="list-style-type: none">• Tempo de vida dos satélites é menor;• Baixa visibilidade demanda grandes constelações de satélites;• Maior número de <i>handoffs</i> e roteamento;• Sinal só está disponível no momento em que o equipamento está visível ao satélite.

2.11. COMPARAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO MÓVEL

A Tabela 2.9 apresenta um quadro comparativo das tecnologias mencionadas nas seções anteriores.

Tabela 2.9 - Quadro comparativo das características de cada tecnologia

	Celular (GSM)	Paging	Satélites
Acesso	Público	Público	Privado
Área de Cobertura	Áreas metropolitanas	Áreas metropolitanas	Global
Taxa de transferência de dados	172 Kbps	2.4 - 3.6 Kbps	Até 64 Kbps
Custo (R\$)	Tim: de 0,42 a 0,64 por minuto	Não há	Inmarsat: R\$ 4,38 por minuto GlobalStar: a partir de R\$ 3,13 por minuto
Mensalidade	de R\$ 29,00 com 12 minutos até R\$ 215,00 com 500 minutos (Tim)	R\$ 37,00 (Teletrim)	GlobalStar: de R\$ 148,75 com 40 minutos a R\$ 748,75 com 300 minutos
Custo do terminal móvel	de R\$ 350,00 a R\$ 2.000,00	aproximadamente R\$ 50,00	Terminal móvel ou modem GlobalStar: R\$ 2.490,00
Custos com aluguel de equipamentos	Nenhum	Nenhum	Nenhum
Provedores no Brasil	Tim e Oi	Teletrim, Mobitel, Directel, PageNet e outras	Inmarsat: Embratel, Radiomar e Telenor GlobalStar: GlobalStar do Brasil Orbcomm: Telespazio
Confiabilidade do canal	Média	Média	Alta
Real Time / Store and Forward	<i>Real Time</i>	<i>Real Time / Store and Forward</i>	<i>Real Time / Store and Forward</i>
Está sujeito a áreas de sombra?	Não	Não	Sim
Peso total dos equipamentos	Menos de 200g	Menos de 200g	Modem GBR3620 GlobalStar: 1250 g
Tamanho de antenas	Não possui	Não possui	A antena do modem GBR3620 GlobalStar possui 130 x 90 mm (A X base)
Tempo de bateria	Depende da bateria, mas existem atualmente no mercado baterias que duram diversos dias em <i>standby</i>	Tempo de duração de baterias comuns.	Aparelho GlobalStar: 3,5 horas de duração com aparelho em funcionamento e 9 horas em <i>standby</i>

2.12. SUMÁRIO

Este capítulo apresentou a revisão bibliográfica de assuntos relacionados à transmissão de dados a longa distância. Foram pesquisadas as tecnologias de transmissão de dados utilizando serviços de telefonia celular, de satélites e de *paggers*.

No capítulo seguinte, é selecionada a tecnologia que permitirá estabelecer o canal de comunicação de longa distância com aeronaves do projeto ARARA.

Para a especificação do sistema de comunicação para a fase III do projeto ARARA, é preciso uma análise mais detalhada dos serviços de comunicação por satélite oferecidos no Brasil. Neste sentido, um compêndio dos serviços e sistemas de transmissão de dados via satélite também é apresentado no próximo capítulo.

Capítulo 3

SELEÇÃO DE UM CANAL DE COMUNICAÇÃO PARA AERONAVES DO PROJETO ARARA

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No capítulo anterior, foram revistos os diversos tópicos relacionados com a transmissão de dados via rádio e outros relacionados com o desenvolvimento deste trabalho.

Com o intuito de definir um canal de comunicação a ser utilizado para viabilizar a transmissão de dados entre a aeronave e a Estação Base em solo, este capítulo apresenta uma comparação das tecnologias pesquisadas com potencial para atender aos requisitos propostos no Capítulo 4.

Dessa comparação, apenas uma tecnologia resulta adequada para uso nessa fase do projeto: a tecnologia de sistemas baseados em satélites. Neste sentido, é feito um levantamento detalhado das características técnicas e comerciais dos serviços de transmissão de dados via satélite oferecidos no Brasil, sejam eles de baixa ou alta órbita. Na seção 3.2 apresenta-se os serviços baseados em satélites de baixa órbita, incluindo o GlobalStar e o Orbcomm e na seção 3.3, apresenta-se os serviços baseados em satélites de alta órbita incluindo o Inmarsat e o BrasilSat.

3.1. ANÁLISE E SELEÇÃO DAS TECNOLOGIAS APLICÁVEIS

Na revisão bibliográfica do capítulo anterior, foram pesquisados o sistema celular móvel, o sistema de *paging* e o sistema de satélites. Com o objetivo de selecionar uma tecnologia dentre as pesquisadas, é feito nas próximas seções um comparativo entre elas levando em consideração alguns parâmetros. Esses parâmetros são mais bem definidos no próximo capítulo onde se estabelecem os requisitos do sistema.

3.1.1. ÁREA DE COBERTURA

É desejável que o canal de comunicação para aeronaves do projeto ARARA tenha o mínimo de restrições possível quanto à cobertura.

De acordo com o exposto na revisão bibliográfica, a comunicação por satélite pode ser feita de praticamente qualquer lugar do mundo estando sujeita apenas às áreas de sombra.

Por outro lado, a comunicação por *pagery* e por telefonia celular móvel possui grande restrição quanto à cobertura. Mesmo com o avanço das tecnologias e com o aumento da quantidade de antenas terrestres instaladas, os sistemas de telefonia celular móvel ainda apresentam pequena cobertura geográfica, principalmente em áreas rurais onde as aeronaves devem operar freqüentemente.

3.1.2. PESO, TAMANHO E DISPONIBILIDADE DOS EQUIPAMENTOS

Foi feita uma previsão do limite de carga e área útil das aeronaves de fase III do projeto ARARA e conclui-se que esta não deve ultrapassar os 5 Kg e que as dimensões sejam modestas.

Os equipamentos utilizados em telefonia celular móvel e *paging* são de tamanho e peso reduzidos. Entretanto, os terminais móveis para uso em serviços de satélites são um pouco maiores e, devido a baterias e antenas, também são mais pesados. Uma opção para reduzir dimensões e peso são os *modems* de RF que operam com satélites. Esses *modems* foram apresentados na Tabela 2.7 da seção 2.10.7 do capítulo anterior e representam uma opção interessante para uso neste projeto.

3.1.3. CUSTO DOS EQUIPAMENTOS

Um dos objetivos do projeto ARARA é o baixo custo das aeronaves. É desejável que os equipamentos para permitir o enlace de dados não encareçam substancialmente o projeto. Telefones celulares e *paggers* são bastante acessíveis em termos de custo. Um aparelho de telefonia celular de última geração que opera com a tecnologia GSM não custa além de R\$ 2.000,00.

Já os terminais móveis usados para os serviços de satélites possuem custo mais elevado. Os mais simples custam em torno de R\$ 2.500,00 e os mais modernos não são encontrados por menos de R\$ 20.000,00. Por outro lado, os *modems* para comunicação por satélite possuem um valor mais acessível (em torno de US\$ 200 a US\$ 700).

3.1.4. CUSTO DOS SERVIÇOS

Dependendo da área a ser monitorada e do tipo de tarefa que a aeronave irá executar, a missão pode durar algumas horas. Além de a missão poder ter longa duração, operadores do sistema em solo podem requisitar a transferência de alta quantidade de dados. Neste sentido, é importante observar como é feita a tarifação do serviço de modo que a missão seja executada com a duração necessária e que seja transmitida a quantidade de dados desejada com o menor custo possível.

Para transmitir dados usando as tecnologias de telefonia celular disponíveis, o valor cobrado é de acordo com a quantidade de *bytes* transmitidos e o usuário pode ficar conectado o tempo todo sem custo extra.

O custo do serviço para transmitir dados através de *paggers* é baixo: em torno de R\$ 0,45 pelo envio de pequenas mensagens (limitado por quantidade de caracteres).

Na transmissão de dados utilizando serviços de satélites, o custo varia de acordo com a rede de satélites utilizada. Algumas delas fazem a cobrança de acordo com a quantidade de *bytes* transmitidos e outras tarifam de acordo com a duração da transmissão.

3.1.5. POTÊNCIA E CONSUMO DE ENERGIA

As aeronaves do projeto ARARA são equipadas com baterias e gerador que provêem alimentação aos diversos sensores e instrumentos de bordo. É desejável que o equipamento

utilizado para prover o canal de comunicação de longa distância apresente baixo consumo de energia. Os aparelhos celulares e *pagerys* atendem perfeitamente este requisito. Já os *modems* para comunicação via satélite consomem mais energia, dependendo do modelo, fabricante e do tipo de serviço.

3.1.6. TAXAS DE TRANSMISSÃO

As taxas de transmissão de dados nas três tecnologias estudadas são aceitáveis para o sistema visto que não há necessidade de transmitir uma quantidade muito grande de dados, exceto para o caso de transmissão de vídeo que fica bastante prejudicada com baixas taxas de transmissão.

Utilizando tecnologias de telefonia celular, já é possível transmitir dados de vídeo a uma velocidade aceitável. Acredita-se que em pouco tempo será possível e viável transmitir esses mesmos dados através de redes de satélites no Brasil.

3.2. SATÉLITES DE ÓRBITA BAIXA NO BRASIL

Sistemas de comunicação baseados em satélites de baixa órbita são adequados para a implementação do canal de comunicação com as aeronaves do projeto ARARA, como se pode observar nos parâmetros discutidos anteriormente e nas vantagens da sua utilização apresentadas na seção 2.10.8.

A seguir, são apresentados os serviços e as redes de satélites disponíveis no Brasil para a transmissão de dados.

3.2.1. GLOBALSTAR

A constelação GlobalStar consiste em 48 satélites em órbita baixa ao redor da Terra e mais quatro satélites de reserva também em órbita baixa. Cada satélite consiste de uma antena, um corpo trapezoidal, dois painéis solares e um magnetômetro³.

Os satélites estão dispostos em oito planos orbitais de seis satélites cada. A inclinação é de 52 graus de modo a proporcionar serviço na Terra entre as latitudes de 70 graus norte a 70

³ O magnetômetro é um instrumento que coleta informações sobre o campo magnético.

graus sul. Devido a essa configuração, as regiões polares, a maior parte da Groenlândia, pequenas porções do Alasca, Canadá, Escandinávia, Sibéria e algumas regiões do hemisfério Sul, inclusive a Antártida e extremo sul da América do Sul, não são cobertas.

Como *bent-pipes* (canos dobrados), ou espelhos no céu, a constelação de satélites GlobalStar pode captar sinais de mais de 80% da superfície da Terra. Diversos satélites captam uma chamada assegurando que esta não caia mesmo que um aparelho se mova para fora do campo de visão de um dos satélites. Quando um usuário faz uma chamada via satélite GlobalStar, o satélite mais próximo aceita o sinal. Os aparelhos via satélite GlobalStar podem operar com um único satélite dentro de seu campo de visão, embora normalmente entre dois e quatro satélites estejam no campo de visão de um aparelho telefônico. Esta cobertura simultânea por múltiplos satélites, chamada de diversidade de rotas, aumenta a qualidade das chamadas.

O método de diversidade de rotas combina sinais múltiplos de força variável em um único sinal coerente. Os sinais são combinados em um único sinal, livre de estática. Os telefones via satélite GlobalStar também alteram seus níveis de potência para compensar sombras e interferências, conforme a necessidade. À medida que os satélites se deslocam para dentro e para fora do campo de visão, eles são transparentemente adicionados e removidos das chamadas em andamento, reduzindo a interrupção de chamadas. Isto permite que o sistema GlobalStar proporcione um serviço de qualidade superior a uma ampla gama de locais com menor potencial de bloqueio de sinal devido a edifícios, terreno ou outros acidentes naturais.

Se um edifício ou terreno bloquear o sinal do aparelho, ocorre uma "transferência suave" e a transmissão do chamador é transferida para um satélite alternativo, sem interrupções. Este novo satélite passa então a manter a transmissão do sinal original até um dos diversos *gateways* GlobalStar em Terra. Como todos os comutadores e equipamentos complexos estão localizados em terra (nos *gateways*), os satélites GlobalStar são relativamente simples, o que resulta em um aumento substancial na confiabilidade do sistema.

3.2.1.1. PROPRIEDADES DO SISTEMA

- Frequência do *link* no sentido Terra-satélite: 1610 MHz a 1621,35 MHz;
- Frequência do *link* no sentido satélite-Terra: 2483,5 a 2500 MHz.

3.2.1.2. SERVIÇOS GLOBALSTAR

A GlobalStar do Brasil oferece o serviço Internet GlobalStar para transmissão de dados usando sua rede de satélites de órbita baixa. Esse serviço é detalhado a seguir.

INTERNET GLOBALSTAR

Utilizando um aparelho móvel ou um *modem* GlobalStar, é possível fazer conexões com a Internet através de telefonia móvel abrangendo uma grande área de cobertura. A Figura 3.1 mostra como é a conexão de um computador à rede de satélites.

Figura 3.1 - Arquitetura para o serviço Internet GlobalStar [GlobalStar, 2003]

O aparelho móvel e o *modem* GlobalStar possuem uma porta serial para comunicação do tipo RS232. As figuras a seguir (Figura 3.2 e Figura 3.3) mostram a conexão de um aparelho móvel com um PC e com um PDA.

Figura 3.2 - Conexão de um PC com um aparelho móvel Globalstar [GlobalStar, 2003]

Figura 3.3 - Conexão de um PDA com um aparelho móvel GlobalStar [GlobalStar, 2003]

Uma chamada GlobalStar é estabelecida da seguinte maneira:

1. O usuário, através do aparelho ou *modem* GlobalStar, faz a chamada usando o modo GlobalStar;
2. Esta chamada é enviada ao satélite GlobalStar que “espelha” a ligação para o *gateway*;
3. O *gateway* recebe a ligação e rotacia para a rede de telefonia pública existente;
4. A rede de telefonia pública faz o roteamento da chamada ao receptor desejado. A chamada está completada;

A duração da chamada, o serviço usado e a área de serviço são informados ao provedor de serviços, para cobrança.

3.2.1.3. UM MODEM PARA COMUNICAÇÃO COM SATÉLITES GLOBALSTAR: GBR3620

Um equipamento adequado para utilização nas aeronaves do projeto ARARA é o *modem* GBR3620. As características técnicas desse equipamento são descritas a seguir:

- Velocidade: até 19,2 Kbps;
- Bits de dados: 8;
- Bits de *Stop*: 1;

- Paridade: nenhuma;
- Controle de fluxo: nenhum;
- Antena com dimensões 130 mm (altura) X 90 mm (base) e conector SMA;
- Alimentação: 12Vdc, conector mini-fit 4 vias;
- Dimensões: 40 mm (altura) X 100 mm (largura) X 245 mm (comprimento);
- Consumo: 150 mA em *standby* e máximo de 1 A;
- Temperatura de operação entre -20°C e +80°C;
- Peso: 1,25 Kg

Para reduzir o peso e as dimensões desse equipamento, é possível acomodá-lo na aeronave fora de sua caixa original sem que haja impactos no funcionamento do mesmo.

A Figura 3.4 mostra a disposição dos conectores existentes nesse *modem* e a Tabela 3.1 descreve as funções de cada conector.

Figura 3.4 - Modem GBR3620 - Conectores [GlobalStar, 2003]

Tabela 3.1 - Funções dos conectores [GlobalStar, 2003]

Conector	Função
1	Microfone
2	Alto-falante
3	Porta de configuração / diagnóstico (uso exclusivo GlobalStar)
4	Porta de dados
5	Porta de expansão (reservada para aplicações futuras)
6	Alimentação 12Vdc
7	Antena Tx
8	Antena Rx

A GlobalStar permite dois tipos de serviços de transmissão de dados: modo dedicado (ou síncrono) e modo discado (ou assíncrono). No modo dedicado, o acesso é feito via satélite e a transmissão de dados é via Internet. No modo discado, a chamada de dados é feita através da rede telefonia pública (PSTN).

A Figura 3.5 mostra a arquitetura do sistema de transmissão de dados GlobalStar.

Figura 3.5 - Arquitetura do sistema de dados GlobalStar [GlobalStar, 2003]

As características da transmissão de dados são:

- Tamanho das mensagens: ilimitado;
- Conexão: 9600 bps *full duplex*;
- Protocolo TCP/IP sobre PPP;
- Interface: porta serial RS232;
- O serviço para transmissão de dados é cobrado por minuto (em torno de R\$ 2,00 o minuto cheio) e a assinatura mensal é de R\$ 40,00.

Utilizando o *modem* GBR3620 juntamente com o serviço Internet GlobalStar é totalmente adequado para aplicações em veículos em movimento.

3.2.2. ORBCOMM

A constelação Orbcomm é constituída por um conjunto de 36 satélites de órbita baixa, com período de revolução sobre a Terra de 100 minutos, que orbitam a uma altura média de 800 Km fazendo cobertura total do planeta. Os satélites ficam em 6 órbitas elípticas em planos diferenciados em relação à sua inclinação ao equador.

O funcionamento do sistema Orbcomm pode ser comparado a uma rede de pacotes cujos nós desta rede são os satélites. Cada satélite tem a finalidade de se comunicar com os *subscriber communicators* (transceptores móveis) e as estações em terra (*gateways*).

Os transceptores móveis são módulos compactos que permitem comunicação bidirecional de dados utilizando baixa potência.

Os *gateways* se comunicam com o GCC (*Gateway Control Center*), sendo que estes últimos processam toda a demanda de comunicação de dados do sistema, disponibilizando as informações dos comunicadores através da Internet ou rede X.400 e recebendo as solicitações dos usuários para envio aos comunicadores.

Um usuário se comunica com o satélite, o qual direciona a mensagem para um *gateway*. Este *gateway* se comunica com o GCC que disponibiliza a informação para a Central de Operações do usuário [Orbcomm, 2003].

É possível estabelecer canais de comunicação através dos protocolos X.25 e X.400, de *modems dial-up*, redes de dados públicas ou privadas e também da Internet.

3.2.2.1. PROPRIEDADES DO SISTEMA

- Frequência do *link* no sentido Terra-satélite: 148,00 a 149,90 MHz;
- Frequência do *link* no sentido satélite-Terra: 137,00 a 138,00 MHz;
- *Gateway* a 56 ou 64 Kbps.

3.2.2.2. SERVIÇOS ORBCOMM

TRANSMISSÃO DE MENSAGENS

As estações terrestres utilizam a técnica de armazenamento e retransmissão (*store and forward*) para troca de mensagens em ambas as direções. As mensagens originadas em um terminal, previamente preparadas e editadas, são transmitidas como pacotes de dados. Estes trafegam via satélite para a estação terrena que, ao receber o último pacote, monta a mensagem e a encaminha para seu destino através da rede de telecomunicações. O tamanho desses pacotes varia de 6 a 1000 bytes e todos os pacotes possuem confirmação de recebimento ou são retransmitidos quando necessário [Orbcomm, 2003].

Por ser um sistema *store and forward*, a troca de informações não é feita de forma direta (*online*). Entretanto, esta técnica oferece vantagens através da diminuição dos custos do serviço com a otimização do sistema. A velocidade de transmissão de dados entre a estação terrena e o terminal móvel é de no máximo 4.800 bps.

Uma chamada Orbcomm é estabelecida da seguinte maneira:

1. Uma mensagem transmitida de um transceptor móvel é recebida no satélite e transmitida para uma das estações em Terra (*gateways*).
2. O *gateway* envia a mensagem por um *link* de satélite ou por uma linha terrestre dedicada para o Centro de Controle de Rede (*Network Control Center - NCC*).
3. O NCC roteia a mensagem para o endereço final via e-mail ou por uma linha telefônica.

3.2.2.3. MODEMS PARA COMUNICAÇÃO COM SATÉLITES ORBCOMM: Q1200 E Q1500

Diversas companhias desenvolveram dispositivos para comunicação com redes de satélites. Os *modems* Q1200 e Q1500 são fabricados pela empresa americana Quake Wireless Inc. e permitem transmitir dados globalmente através dos satélites Orbcomm.

A seguir, são apresentadas as características técnicas desses equipamentos:

- Alimentação: 12 Vdc;
- Dimensões: ambos possuem 18 mm (altura) X 230 mm (largura) X 66 mm (comprimento);
- Consumo: de 70 a 80 mA em *standby* e máximo de 2,2 A em funcionamento;
- Temperatura de operação entre -40° C e 85° C;
- Peso: 227g;
- Memória flash programável;
- Interface RS232;
- O modelo Q1500 possui um *chip* que determina a posição geográfica utilizando GPS.

A Figura 3.6 ilustra o sistema de transmissão de dados através dos satélites Orbcomm.

Figura 3.6 - Sistema de transmissão de dados Orbcomm [Orbcomm, 2003]

Características da transmissão de dados:

- Taxa de dados do transceptor para o satélite: 2400 bps;
- Taxa de dados do satélite para o transceptor: 4800 bps;
- Tamanho das mensagens: de 6 a 1000 bytes, mas normalmente o tamanho dos pacotes é de aproximadamente 20 bytes por mensagem;

- Canal de comunicação *full duplex*;
- Transmissão de dados usando a técnica *store and forward*;
- Uso é cobrado por quantidade de *bytes* transmitidos.

A constelação de satélites Orbcomm não está totalmente concluída. Por esse motivo, os dados são transmitidos no modo *store and forward* com *delays* que chegam até 17 minutos. Ou seja, a aeronave não fica visível ao satélite durante todo o tempo e, conseqüentemente, torna-se incommunicável durante alguns períodos.

É possível utilizar os serviços da Orbcomm para transmissão de dados nas aeronaves do projeto ARARA, mas com a presença dos *delays* fica complicado utilizar esses serviços para navegação (interferir na missão, por exemplo).

Um outro ponto importante e que deve ser considerado no uso de equipamentos Orbcomm é o tamanho da antena e a disposição da mesma na aeronave. Normalmente, são produzidas antenas que possuem por volta de 40 cm de altura e que devem ser dispostas externamente em veículos móveis. A equipe técnica da empresa Orbcomm no Brasil informou que há possibilidade de reduzir o tamanho desta antena e testá-la na parte interna do veículo.

3.3. SATÉLITES DE ÓRBITA ALTA NO BRASIL

Os sistemas de satélites de órbita alta também podem ser utilizados no sistema de comunicação do projeto ARARA pois obedecem a maior parte dos parâmetros discutidos na seção 3.2. As redes de satélites de órbita alta e seus serviços de transmissão de dados são apresentadas a seguir.

3.3.1. INMARSAT

No Brasil, a Embratel, a Telenor, a ControlSat e a Arycom são algumas das empresas que provêem serviços da rede de satélites Inmarsat.

3.3.1.1. SISTEMAS INMARSAT

INMARSAT GAN

O Inmarsat GAN é um sistema de comunicação móvel que utiliza um equipamento portátil nas dimensões de um *laptop*. Permite o envio e recebimento de dados com grande rapidez e confiabilidade na taxa de 64 Kbps. Permite acesso a Internet, transferência de imagens digitais e também videoconferência. Este serviço é oferecido pela Embratel (Movsat GAN).

Para utilização desse serviço a Embratel utiliza as estações terrestres da Telenor (operadora Norueguesa) da qual é associada. Este consórcio internacional utiliza quatro satélites para dar cobertura a todo o planeta e mais quatro satélites (reserva), para garantir a continuidade do serviço em qualquer situação. Existe ainda um quinto satélite pronto para ser lançado em caso de emergência operacional. Esses satélites permitem a comunicação entre quaisquer áreas do planeta, com exceção das regiões polares.

Um equipamento que pode ser utilizado para estabelecer o enlace de dados com o satélite é o Nera WorldCommunicator fornecido pela empresa norueguesa Nera AS. O custo deste equipamento é bastante elevado (em torno de R\$ 46.700,00) e é necessário o uso de uma antena de 80 cm que permaneça estática e apontada o tempo todo para o satélite. Devido à necessidade de estar sempre apontada para o satélite, a antena em questão não é adequada para uso em veículos em movimento. Uma antena específica para uso em aplicações aéreas é denominada Swift 64 e seu custo é na faixa de US\$ 100 mil!

INMARSAT AERO-C E AERO-M

O Aero-C e Aero-M são sistemas de comunicação via satélite Inmarsat especialmente desenvolvidos para aeronaves.

Para o serviço Inmarsat Aero-C, a empresa Thrane & Thrane produz o equipamento móvel TT-3024A. A comunicação de dados é feita através de uma porta RS422/423. Para o serviço Aero-M, a mesma empresa dispõe do equipamento TT-3000M que deve ser utilizado com a antena TT-5006A. Informações técnicas desses aparelhos podem ser vistas na Tabela 2.1 da seção 2.10.7.

INMARSAT-C

O Inmarsat-C é um sistema oferecido pela empresa brasileira ControlSat. Esse sistema provê transmissão de dados em pontos móveis em qualquer parte do mundo onde há cobertura dos satélites Inmarsat. Os terminais Inmarsat-C são bastante simples, de baixo custo e possuem pequenas dimensões.

O sistema é baseado em mensagens ou dados que possam ser convertidos em formato binário. A taxa de transmissão é em torno de 600 bps e a comunicação é feita através de portas seriais do tipo RS232.

Um terminal adequado para uso do sistema Inmarsat-C é o TT-3022C desenvolvido pela empresa Thrane & Thrane. Através desse terminal é possível fazer transmissão de dados, fax e ainda localização geográfica através do receptor GPS existente.

3.3.2. BRASILSAT

A rede de satélites BrasilSat é operada pela Star One, uma empresa da Embratel.

3.3.2.1. SERVIÇOS BRASILSAT

A EasyBand Corporate é a primeira conexão em banda larga via satélite oferecida no Brasil. Ela é oferecida aos usuários através de uma parceria entre a Star One, da Embratel, a UOI e a Gilat. A Star One oferece a conexão bidirecional via satélite, a Gilat oferece os equipamentos e a UOI é o primeiro provedor a disponibilizar o serviço. A grande vantagem é a área de cobertura com banda larga via satélite oferecida. Já está disponível em todo território nacional, com exceção da Amazônia, que não tem cobertura de satélite do serviço.

A implantação do serviço é bastante rápida e não é necessária infra-estrutura terrestre. A largura de banda é de 150 Kbps até 500 Kbps para *download* e de 40 Kbps até 76 Kbps para *upload*. Os equipamentos necessários são um *modem* com função de roteador e uma antena de 96 cm sempre apontada para o satélite o que impossibilita a utilização em veículos em movimento [Embratel, 2003].

Também já está disponível no mercado um outro serviço oferecido pelo StarOne para transmissão de dados multimídia utilizando banda larga, o EasyCast. Para ter acesso a esse serviço, são necessários um receptor DVB/MPEG-2 e uma antena de 90 cm [Embratel, 2003].

3.4. SUMÁRIO

Considerando a análise para seleção da tecnologia a ser usada nessa fase do projeto, concluiu-se que a mais viável é a de sistemas baseados em satélites. A principal razão da escolha da comunicação por satélite está relacionada com a ampla área geográfica de cobertura.

O peso e consumo de energia dos equipamentos também estão de acordo com a aplicação proposta. Os sistemas de comunicação por satélites também são compatíveis com a comunicação com terminais móveis nas velocidades de operação das aeronaves em estudo.

Esse capítulo também apresentou os serviços de comunicação via satélite para transmissão de dados oferecidos no Brasil. Esse levantamento é primordial para o conhecimento das possibilidades de uso dos serviços de acordo com as aplicações desejadas.

Diante do exposto, concluiu-se que:

- Apesar de poder ser utilizado em veículos em movimento, o serviço de transmissão de dados que a Orbcomm provê é desvantajoso devido aos *delays* que ocorrem entre um satélite e outro ocasionando perda de comunicação. Para transmissão de dados da aeronave para a Estação Base em solo este serviço é adequado, mas para enviar telecomandos que interfiram na missão não é viável. Os *modems* são leves, possuem pequenas dimensões e são de baixo custo (em torno de US\$ 200.00). Entretanto, as antenas devem ser posicionadas externamente na aeronave o que prejudica a aerodinâmica da mesma.
- Devido a necessidade do uso de antenas (que devem permanecer direcionadas ao satélite e são consideradas de grandes dimensões para este projeto) nos serviços que a StarOne provê através da rede de satélites BrasilSat, não são adequados para utilização no projeto ARARA, apesar dos mesmos proverem uma boa largura de banda.

- Os equipamentos para comunicação com satélites Inmarsat possuem antenas que medem até 15 cm de altura e que devem ser dispostas externamente caso a aeronave seja constituída de materiais que dificultem a difusão das ondas de rádio. Algumas das antenas são adequadas para uso em comunicação móvel. A taxa de transmissão de dados é bastante baixa chegando ao limite de 600 bps e o tamanho das mensagens também é limitado a 128 bits.
- O sistema de satélites mais adequado para desenvolvimento deste trabalho é o provido pela rede GlobalStar. O serviço Internet GlobalStar é bastante interessante visto que possibilita a utilização de protocolos da Internet conhecidos para o desenvolvimento das funções do sistema de comunicação. O dispositivo disponível e adequado para utilização deste serviço é o *modem* GBR3620. A antena contida neste *modem* é adequada para uso em veículos móveis.

No capítulo seguinte, é feito o levantamento e a análise de requisitos do sistema de comunicação entre a estação em solo e a aeronave.

Capítulo 4

ANÁLISE DE REQUISITOS E ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No capítulo anterior foi definida a tecnologia a ser utilizada para a criação de um canal de comunicação entre aeronaves do projeto ARARA e a Estação Base em solo. Além da tecnologia, conseguiu-se identificar um serviço para transmissão de dados disponível no Brasil e eleger um equipamento a ser utilizado.

Este capítulo tem por objetivo descrever os requisitos não funcionais e funcionais do sistema de comunicação. Esses requisitos são apresentados respectivamente nas seções 4.1 e 4.2.

Na seção 4.3 é proposta uma arquitetura para o sistema de comunicação considerado e feita a especificação do mesmo descrevendo as características de cada entidade envolvida e de como os dados trafegam no canal de comunicação.

4.1. REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS

Entre os requisitos que devem ser atendidos pelo sistema de comunicação, os seguintes aspectos devem ser considerados:

1. Área geográfica de cobertura. Deve englobar regiões rurais onde será realizada grande parte das missões:

2. **Peso, tamanho e disponibilidade dos equipamentos:** o tamanho dos equipamentos é um requisito importante no projeto uma vez que as aeronaves são de pequenas dimensões. A mesma observação se aplica ao peso dos equipamentos;
3. **Custo dos equipamentos e dos serviços:** uma das principais características do projeto ARARA é o baixo custo de operação. O custo do serviço de comunicação não deve ter influência apreciável sobre o custo total de operação da aeronave;
4. **Potência e consumo de energia dos equipamentos:** a carga de maior peso transportada pelas aeronaves é o suprimento de energia, mais especificamente, combustível para a operação do motor (quando utilizado um motor à explosão) e baterias ou gerador para alimentação dos dispositivos eletrônicos embarcados. O sistema de comunicação deve consumir a menor quantidade de energia possível para evitar um aumento significativo no peso embarcado;
5. **Taxas de transmissão e tempo de resposta/latência:** apesar do protocolo proposto não exigir taxas de transmissão de dados elevadas, sua disponibilidade pode contribuir para a elaboração de funcionalidades adicionais. A latência é importante no caso de mensagens de telecomando como mudança de rota ou término prematuro da missão. Também, deve-se avaliar se o serviço pode ficar indisponível em períodos de tempo longos, eventualmente sob condições atmosféricas adversas.

4.2. REQUISITOS FUNCIONAIS

Atendidos os requisitos não funcionais, o sistema de comunicação deve abranger as seguintes funcionalidades:

1. **Enviar mensagens de telemetria com dados provenientes dos sensores instalados a bordo da aeronave.** Os dados de telemetria devem ser enviados continuamente a partir do momento que forem requisitados. Deve existir um código de correção de erros para garantir a validade dos dados recebidos;
2. **Enviar telecomandos para calibragem e configuração de dispositivos a bordo da aeronave** como bússola, altímetro, câmera fotográfica e câmera de vídeo;
3. **Enviar telecomandos para iniciar ou parar a captura de imagens em diversas resoluções;**

4. Enviar telecomandos para iniciar ou parar uma sequência de vídeo de baixa resolução e baixa taxa de quadros;
5. Permitir que as imagens e sequências de vídeo sejam transmitidas assim que captadas;
6. Permitir a transferência de imagens e sequências de vídeo armazenadas;
7. Enviar mensagens de telecomando para alterar uma missão previamente programada. Esta mensagem deve ter confirmação de recebimento;
8. Enviar mensagens de telecomando para abortar uma missão. Nesse caso, a aeronave deve retornar para a base;
9. Enviar mensagens de telecomando para abortar o voo. Nesse caso, a aeronave deve desligar o motor e abrir o pára-quedas;
10. Enviar mensagens de telecomando para carregar novo plano de voo. O plano de voo deve ser gerado por um utilitário específico para essa função;
11. Prover uma interface gráfica possibilitando a submissão de telecomandos e a recepção de dados enviados da aeronave para a Estação Base em solo.

4.3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema de comunicação proposto neste trabalho baseia-se em aeronaves do projeto ARARA com dispositivos para comunicação de dados, imagens e vídeos. O objetivo é que um operador possa acessar remotamente a aeronave para a comunicação de dados.

A solução proposta para prover o canal de comunicação é baseada em satélites, pois este tipo de sistema é capaz de prover confiabilidade na comunicação e ampla cobertura geográfica para controle e monitoramento da missão realizada pela aeronave. O sistema selecionado é o de satélites de órbita baixa GlobalStar e o equipamento adequado é o *modem* GBR3620. O serviço não provê uma taxa de transmissão alta, porém satisfaz a maior parte dos requisitos especificados.

As aeronaves da fase III do projeto ARARA operam automaticamente com mínima intervenção humana. Para viabilizar este modo de operação e dar subsídios para a próxima fase

O diagrama ilustra a arquitetura de uma estação base para monitoramento de aeronaves. No topo, uma aeronave rotulada "Aeronave ARARA" é conectada por uma linha tracejada verde ao "Satélite". O satélite, por sua vez, transmite dados para uma "Estação base" (Gateway) no solo, também via linha tracejada verde. A estação base está conectada à "Internet" (representada por uma nuvem amarela) por uma linha tracejada verde. A Internet fornece acesso à "EstaçãoBase" (computador), que se comunica com a aeronave via satélite. A aeronave também transmite dados diretamente para a estação base por uma linha tracejada azul. A estação base é composta por um "PC - Linux" que atua como "Servidor Web, FTP e Telnet". O PC está conectado a uma "Bússola", um "GPS", um "Altimetro" e um "Modem" via "RS232". O modem também está conectado ao "Satélite" via "PPP" (Protocolo de Controle de Acesso de Rede de Pacote).

A aeronave pode ser considerada como um repositório de dados e se comporta como servidor. Essa entidade disponibiliza dados de telemetria, imagens e vídeos obtidos durante o voo para *download*. Estes dados não necessitam de um canal confiável para comunicação e nem de confirmação de recebimento da Estação Base. Apesar disto, é definido um mecanismo de detecção para descartar pacotes com erros.

79

obtidos pela mesma. As operações de telecomando submetidas da Estação Base para a aeronave necessitam de confiabilidade no canal sendo obrigatória a utilização de um serviço confiável.

O sistema de comunicação para transmissão de dados a longa distância utiliza protocolos de Internet conhecidos visto que o serviço Internet GlobalStar provê esta facilidade.

As seções a seguir apresentam as características de *hardware* e de *software* do servidor (aeronave) e do cliente (Estação Base) e como estas duas entidades se comunicam.

4.3.1. AERONAVE

O diagrama de blocos ilustrado na Figura 4.2 apresenta o conjunto de sensores, instrumentos e outros componentes de *hardware* existentes a bordo da aeronave bem como a ligação entre todos estes dispositivos.

Figura 4.2 - Diagrama de blocos da aeronave

O elemento central deste conjunto é um microcomputador padrão PC/104. A rede local permite que o computador receba os dados dos sensores e envie dados para os atuadores (servomecanismos).

As portas seriais do computador da aeronave são utilizadas para conectar o receptor GPS, o *modem* GBR3620 de comunicação via satélite e a câmera fotográfica. A câmera fotográfica é posicionada no dorso da aeronave com seu foco direcionado para baixo.

Duas câmeras de vídeo são utilizadas. Uma câmera de vídeo é posicionada no bico da aeronave com seu foco direcionado para frente e outra posicionada no dorso da aeronave com seu foco direcionado para baixo.

O conjunto de sensores é composto por:

○ Indicador de combustível;	○ Sensor de variação de altitude (<i>climb</i>);
○ Sensor de temperatura do motor;	○ Bússola giroscópica;
○ Sensor de temperatura dos gases do escapamento;	○ Bússola magnética;
○ Sensor de rotação do motor;	○ Sensor de tensão das baterias e gerador;
○ Velocímetro;	○ Sensor de temperatura do ambiente;
○ Altímetro;	○ Horizonte artificial.

Como *software* básico para o microcomputador da aeronave foi selecionado o sistema operacional Linux por possuir um *kernel* reduzido e requisitar poucos recursos de *hardware*. Nesse microcomputador são configurados um servidor Web (Apache) para fornecimento de páginas HTML, um servidor de FTP para permitir *upload* e *download* de arquivos e um servidor de TELNET para conexão remota com a aeronave.

O servidor Web deve ser configurado para permitir a execução de *scripts* CGI (*Common Gateway Interface*) que foram implementados para executar os telecomandos submetidos da Estação Base para a aeronave. Detalhes sobre esta implementação são apresentados no próximo capítulo.

Ainda no diagrama da figura anterior, é possível identificar os módulos de *software* que foram implementados em outros trabalhos de mestrado:

- Piloto automático [Neris, 2001]: responsável por manobrar a aeronave em resposta aos comandos de direção do sistema de navegação e dos dados recebidos dos sensores.

- Sistema de Navegação [Barbosa, 2001]: responsável por obter a posição de uma aeronave e calcular os comandos de direção.

4.3.2. ESTAÇÃO BASE

A Estação Base é um microcomputador padrão IBM-PC com sistema operacional Windows NT ou superior e fica localizada em solo. Através do canal de comunicação, a Estação Base recebe os dados de telemetria gerados pelos sensores e instrumentos da aeronave e envia telecomandos para executar operações não programadas no plano de voo como capturar fotos ou vídeos em um determinado local. Os telecomandos são gerados a partir da interação de um operador com as interfaces desenvolvidas e apresentadas na seção 5.3 do próximo capítulo.

Na Estação Base deve existir uma conexão à Internet (*modem* ou outro meio qualquer) e um navegador Web para comunicação com o servidor (aeronave). Para exibição de vídeo, pode-se utilizar um aplicativo como o *Real Player* da Real Networks ou o *Windows Media Player* da Microsoft. A abertura de um arquivo contendo vídeo é opcional. Também deve existir um serviço para coleta e interpretação dos pacotes de telemetria enviados pela aeronave. Esse serviço transforma os pacotes para um formato de fácil compreensão como um documento HTML. O serviço de coleta é detalhado na seção 5.1.7.

4.3.3. COMUNICAÇÃO ENTRE A ESTAÇÃO BASE E A AERONAVE

Para que seja possível estabelecer a comunicação entre a aeronave e a Estação Base em solo num raio de centenas de quilômetros, um *modem* de comunicação via satélite é conectado ao microcomputador da aeronave através de uma porta serial do tipo RS232.

De maneira análoga, a Estação Base em solo também deve utilizar um *modem* para se comunicar com a aeronave através da Internet. O *modem* da Estação Base é opcional, podendo ser um *modem* de comunicação via satélite. É importante ressaltar que a utilização de um *modem* de comunicação via satélite na Estação Base não melhora apreciavelmente a qualidade da comunicação com a aeronave uma vez que as mensagens sempre trafegam pelo *gateway* terrestre tanto para *upload* como para *download*. Além disso, o *modem* GBR3620 alcança velocidades de até 9,6 Kbps enquanto que os *modems* comuns chegam a 56 Kbps. A Estação Base pode ainda conseguir uma comunicação mais rápida com a Internet através de linhas ADSL, por exemplo.

4.3.3.1. UPLINK

A comunicação pode iniciar-se a partir da Estação Base em solo quando um operador do sistema envia telecomandos para que a aeronave execute alguma operação. A Estação Base envia as mensagens de telecomando através de uma conexão Internet estabelecida com a aeronave. Os telecomandos são enviados para um *gateway*. Este *gateway* (ou estação terrestre) roteia as mensagens para a aeronave que interpreta os comandos enviados e executa a operação requisitada. O caminho percorrido pelas mensagens que saem da Estação Base e chegam na aeronave é denominado *uplink*.

4.3.3.2. DOWNLINK

A aeronave pode responder a uma requisição da Estação Base. O envio de mensagens da aeronave para a Estação Base prossegue da seguinte maneira: os pacotes de dados são enviados para o satélite. Em seguida, o satélite envia esses dados para o *gateway* e este, por sua vez, os encaminha para a Internet. O *downlink* é o caminho que os dados provenientes da aeronave percorrem até chegar a Estação Base em solo.

4.4. SUMÁRIO

Neste capítulo foram definidos os requisitos para o sistema de comunicação entre uma aeronave do projeto ARARA e a Estação Base em solo.

O capítulo também apresentou a especificação do sistema propondo uma arquitetura de comunicação para o mesmo. Nessa arquitetura, foram definidos os equipamentos e as tecnologias utilizadas para que a aeronave e a Estação Base se comuniquem e quais os caminhos que os dados percorrem no canal proposto.

No próximo capítulo, são apresentados os detalhes de projeto e implementação do sistema de comunicação com as aeronaves do projeto ARARA.

Capítulo 5

PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No capítulo anterior foram apresentadas a análise de requisitos e a especificação do sistema de comunicação proposto utilizando um canal de comunicação por satélites.

Para implementar o sistema de comunicação é necessário definir as funções e descrever como é o tráfego e o formato dos dados no canal de comunicação. Este capítulo apresenta os detalhes de projeto e de implementação destas funções definindo os protocolos utilizados e as interfaces para a utilização desses serviços.

A seção 5.1 apresenta o conjunto de funções implementadas para comunicação entre a aeronave e a Estação Base. Na seção 5.2 são apresentados os tipos e formatos dos pacotes de dados de telemetria e dados de vídeo que trafegam no canal de comunicação proposto. A seção 5.3 apresenta todas as interfaces para interação do operador com a aeronave. Outras alternativas de interação com a aeronave são apresentadas na seção 5.4.

5.1. CONJUNTO DE FUNÇÕES

As funções previstas no sistema de comunicação representam os telecomandos que podem ser submetidos por operadores a partir da Estação Base. Para cada uma dessas funções, foram implementados *scripts* CGI utilizando a linguagem C/C++ e documentos em HTML que acionam esses *scripts*.

As interfaces em HTML utilizam *tags* para criação de formulários permitindo a entrada de valores que são passados aos *scripts*. Todos os *scripts* localizam-se em um diretório com permissões de leitura e execução no servidor Web. Quando um formulário HTML é preenchido e submetido ao servidor, o servidor recebe os parâmetros juntamente com seus valores através de sua entrada padrão ou de variáveis de ambiente. Existem duas maneiras para submeter requisições HTTP com valores de formulários ao servidor Web: o método GET e o método POST.

O método GET é mais utilizado quando há poucos parâmetros a serem passados ao servidor, pois há uma limitação no número de caracteres (total de 128). Neste método, os parâmetros são encapsulados na URL (*Uniform Resource Location*) e enviados ao servidor. Os parâmetros formam uma cadeia de caracteres constituída por pares “parâmetro=valor” separados pelo caractere ‘&’. O *script* CGI deve analisar essa cadeia de caracteres separando os parâmetros e valores de forma que possam ser utilizados pelo *script*. Um exemplo de utilização do método GET é apresentado a seguir.

```
GET
http://www.aeronavearara.com.br:80/scripts/get_telemetry_data?pack1=yes&pack2=
yes&pack3=yes&time1=1&time2=10&time3=60 HTTP/1.1
```

A primeira parte da URL é o *script* a ser executado e a segunda parte (após sinal de interrogação) é a lista de parâmetros separados pelo caractere ‘&’. Neste exemplo, os parâmetros *pack1*, *pack2* e *pack3* informam se os pacotes do Tipo I, Tipo II e Tipo III serão ou não transmitidos e os argumentos *time1*, *time2* e *time3* informam a frequência (em segundos) de transmissão destes pacotes.

Já o método POST permite enviar um bloco de parâmetros para serem processados pelo servidor. Nesse caso, os parâmetros não são encapsulados na URL como no método GET e sim no corpo da mensagem de requisição POST.

As requisições HTTP que usam esses métodos são montadas pelo próprio navegador Web. Para que isto seja possível, deve-se especificar na chamada do *script* feita no formulário HTML o método que será utilizado para enviar os parâmetros. Em algumas funções de telecomando implementadas nesse sistema é utilizado o método GET e em outras o método

POST. A decisão por um ou outro método foi feita de acordo com a quantidade de argumentos de cada interface.

A saída de um *script* CGI é enviada para a saída padrão. O usuário do sistema sempre recebe um *feedback* de suas requisições através de documentos HTML gerados pelos *scripts*. Quando o telecomando submetido for uma consulta que retorna dados, o documento HTML gerado contém esses dados. Se o telecomando for somente o pedido de execução de um programa no servidor, o documento HTML gerado contém somente uma mensagem com o *status* da execução. Caso haja algum problema na execução de quaisquer telecomandos submetidos nas requisições HTTP, um documento HTML é gerado com uma mensagem de erro.

A Figura 5.1 ilustra o esquema de execução de *scripts* CGI através de uma requisição HTTP feita por um usuário em um navegador Web.

Figura 5.1 - Esquema de execução de *scripts* CGI

Todos os *scripts* CGI implementados para as funções de telecomando disparam outros programas no servidor. O servidor executa esses programas e devolve os resultados para o *script* CGI preparar a apresentação dos mesmos em documentos HTML. Essas e outras características de implementação de cada uma das funções são apresentadas com detalhes nas próximas seções.

5.1.1. CONFIGURAÇÃO DAS CÂMERAS DE VÍDEO

Como visto anteriormente, a aeronave possui duas câmeras de vídeo a bordo. Estas câmeras de vídeo são devidamente configuradas antes do início de uma missão. Entretanto, pode ser necessário alterar esta configuração. Para permitir esta interação, uma função de telecomando foi implementada e é detalhada a seguir.

Entradas	Requisição HTTP: www.aeronavearara.com.br/ararainstruments.htm Instrução: configurar a(s) câmera(s) de vídeo. Parâmetros: câmera1, câmera2 e modo (vídeo ou <i>display</i>)
Script	<code>video_config.cgi</code>
Processamento	(1) Cliente faz requisição HTTP; (2) Servidor envia formulário; (3) Cliente preenche formulário e envia nova requisição HTTP: <code>GET</code> <code>www.aeronavearara.com.br/scripts/video_config?cam1=video&cam2=</code> <code>video HTTP/1.1</code> (4) Servidor entrega a requisição para o <i>script</i> <code>video_config.cgi</code> ; (5) <i>Script</i> processa os dados e faz a chamada a outro aplicativo no servidor; (6) Servidor executa o aplicativo que aciona a interface de comunicação com a(s) câmera(s) de vídeo para realizar a configuração; (7) Aplicativo devolve resultado (sucesso ou erro) da execução da instrução para o <i>script</i> ; (8) <i>Script</i> gera saída.
Saídas	a) Documento HTML com sucesso na configuração da(s) câmera(s) de vídeo. b) Documento HTML com mensagem de erro.

5.1.2. CALIBRAGEM DA BÚSSOLA

Entradas	Requisição HTTP: www.aeronavearara.com.br/ararainstruments.htm Instrução: calibrar bússola. Parâmetro: operação (iniciar ou parar)
Script	<code>compass_config.cgi</code>
Processamento	(1) Cliente faz requisição HTTP; (2) Servidor envia formulário; (3) Cliente seleciona opção no formulário e envia nova requisição HTTP: GET www.aeronavearara.com.br/scripts/compass_config? HTTP/1.1 (4) Servidor entrega a requisição para o <i>script</i> <code>compass_config.cgi</code> ; (5) <i>Script</i> processa os dados e faz a chamada a outro aplicativo no servidor; (6) Servidor executa a função do <i>software</i> da aeronave que faz a calibragem da bússola; (7) Aplicativo devolve resultado (sucesso ou erro) da execução da instrução para o <i>script</i> ; (8) <i>Script</i> gera saída.
Saídas	a) Documento HTML com mensagem de sucesso na calibragem da bússola. b) Documento HTML com mensagem de erro.

5.1.3. CALIBRAGEM DO ALTÍMETRO

Entradas	Requisição HTTP: www.aeronavearara.com.br/ararainstruments.htm Instrução: calibrar altímetro. Parâmetros: valor da pressão de referência
Script	<code>altimeter_config.cgi</code>
Processamento	(1) Cliente faz requisição HTTP; (2) Servidor envia formulário; (3) Cliente preenche formulário e envia nova requisição HTTP: GET www.aeronavearara.com.br/scripts/altimeter_config?valor=20 HTTP/1.1 (4) Servidor entrega a requisição para o <i>script</i> <code>altimeter_config.cgi</code> ; (5) <i>Script</i> processa os dados e faz a chamada a outro aplicativo no servidor; (6) Servidor executa a função do <i>software</i> da aeronave que faz a calibragem do altímetro; (7) Aplicativo devolve resultado (sucesso ou erro) da execução da instrução para o <i>script</i> ; (8) <i>Script</i> gera saída.
Saídas	a) Documento HTML com mensagem de sucesso na instrução de calibragem do altímetro. b) Documento HTML com mensagem de erro.

5.1.4. CONFIGURAÇÃO DA CÂMERA FOTOGRÁFICA

A câmera fotográfica a bordo da aeronave é configurada antes que uma missão seja iniciada. Porém, o operador do sistema pode alterar essas configurações quando a aeronave já estiver em operação submetendo a partir da Estação Base o telecomando de configuração da câmera fotográfica.

A seguir, é detalhado o procedimento que ocorre quando este telecomando é submetido.

Entradas	Requisição http: www.aeronavearara.com.br/ararainstruments.htm Instrução: configurar câmera fotográfica. Parâmetros: resolução e profundidade de cores
Script	camera_config.cgi
Processamento	(1) Cliente faz requisição HTTP; (2) Servidor envia formulário; (3) Cliente preenche formulário e envia nova requisição HTTP: GET www.aeronavearara.com.br/scripts/camera_config?resl=480&resc=320&cor=24 HTTP/1.1 (4) Servidor entrega a requisição para o <i>script</i> camera_config.cgi; (5) <i>Script</i> processa os dados e faz a chamada a outro aplicativo no servidor; (6) Servidor executa o aplicativo que envia comandos para a interface de comunicação com a câmera fotográfica; (7) Aplicativo devolve resultado (sucesso ou erro) da execução da instrução para o <i>script</i> ; (8) <i>Script</i> gera saída.
Saídas	a) Documento HTML com mensagem de sucesso na configuração da câmera fotográfica. b) Documento HTML com mensagem de erro.

5.1.5. SOLICITAÇÃO DE IMAGENS

A captura de imagens pode ser programada durante a criação de um plano de voo. Quando a aeronave está em operação e executando o plano de voo programado, as imagens previstas na programação são capturadas e armazenadas a bordo da aeronave. No fim da missão e quando a aeronave está de volta ao solo, essas imagens são removidas da aeronave para serem processadas.

Entretanto, é desejável a captura de imagens não previstas no plano de voo e também que essas imagens sejam imediatamente transmitidas para a Estação Base. Para viabilizar esta

funcionalidade, o operador do sistema pode submeter telecomandos de captura dessas novas imagens. Uma interface com esse propósito foi desenvolvida e está ilustrada na seção 5.3. As instruções de entrada e de saída e o fluxo de transmissão das imagens requisitadas por telecomandos são descritos a seguir.

Entradas	Requisição HTTP: www.aeronavearara.com.br/araraimagevideo.htm Instrução: obter uma ou mais imagens. Parâmetros: resolução, profundidade de cor, quantidade de imagens e intervalo dos disparos da câmera.
Script	<code>get_image.cgi</code>
Processamento	(1) Cliente faz requisição HTTP; (2) Servidor envia formulário; (3) Cliente preenche formulário e envia nova requisição HTTP: <code>GET /www.aeronavearara.com.br/scripts/get_image?resl=480&resc=320&cor=24&img=4&int=15 HTTP/1.1</code> (4) Servidor entrega a requisição para o <i>script</i> <code>get_image.cgi</code> ; (5) <i>Script</i> processa os dados e faz a chamada a outro aplicativo no servidor; (6) Servidor executa o aplicativo que envia comandos para a interface de comunicação com a câmera fotográfica iniciando a captura das imagens; (7) Aplicativo processa e armazena as imagens em um diretório; (8) Aplicativo devolve resultado (sucesso ou erro) da execução da instrução para o <i>script</i> ; (8) <i>Script</i> gera saída.
Saídas	a) Documento HTML com mensagem de sucesso na captura de imagens informando o caminho das mesmas para FTP. b) Documento HTML gerado <i>on the fly</i> pelo <i>script</i> com a(s) imagem(ns) solicitada(s). c) Documento HTML com mensagem de erro.

Vale ressaltar que, devido à estreita largura de banda do canal de comunicação utilizado (9600 bps), a transmissão de imagens de alta qualidade em tempo real não é possível. Considerando imagens com resolução de 480x320 *pixels* e profundidade de cores de 24 bits obtém-se 3.686.400 bits (480*320*24). Utilizando um algoritmo de compressão como o JPEG, é possível comprimir esta imagem à taxa de 10:1 [Jpeg, 2003] resultando em uma imagem de 368.640 bits. Para transmiti-la na banda disponível, a espera por uma única imagem seria de, aproximadamente, 40 segundos (368.640÷9600). O JPEG permite seleccionar taxas de compressão maiores, mas quanto maior a compressão, menor a qualidade da imagem [Jpeg, 2003].

5.1.6. SOLICITAÇÃO DE SEQÜÊNCIAS DE VÍDEO

Uma câmera de vídeo também está a bordo da aeronave para capturar seqüências de vídeo com o intuito de fazer monitoramento em tempo real ou mesmo para melhor posicionamento da aeronave sobre as áreas de interesse para a obtenção de imagens.

A entrega de vídeo utilizando uma requisição HTTP ao servidor Web não é satisfatória devido a necessidade de interação deste com uma aplicação auxiliar (transdutor de vídeo) para exibição de conteúdos multimídia [Kurose, 2003]. Uma alternativa para entregar dados multimídia de forma mais eficaz é utilizar um servidor de vídeo juntamente com o servidor Web. Com o servidor de vídeo, o transdutor de mídia pode fazer requisições utilizando serviços de outros protocolos como o UDP. O servidor de Web serve páginas e os arquivos descritores e o servidor de vídeo serve os arquivos de vídeo. A Figura 5.2 ilustra esta solução.

Figura 5.2 - Servidor Web enviando vídeo diretamente para o transdutor [Kurose, 2003]

O protocolo RTP (*Real Time Protocol*) para transmissão de vídeo em tempo real também pode ser utilizado em conjunto com o UDP no servidor de vídeo. Este protocolo oferece identificação do tipo de carga, numeração da seqüência de pacotes e permite adicionar marcas de tempo. O protocolo é executado nos sistemas terminais e seus pacotes são encapsulados em segmentos UDP que são definidos na seção 5.2.2.

A transmissão de vídeo utilizando o canal de comunicação proposto neste trabalho não é favorável pois a taxa de transmissão não ultrapassa os 9600 bps. Um exemplo que demonstra este ponto negativo é descrito a seguir.

Considerando *frames* com resolução de 80x60 *pixels*, profundidade de cores de 8 bits e uma taxa de quadros de 2 *fps* (*frames per second*), obtém-se uma taxa de 76.800 bits (80x60x8x2) por segundo. Para evitar o uso extensivo de banda para transmissão, é necessário que o vídeo seja comprimido. Para realizar esta compressão, é utilizado um CODEC (Compressor/Decompressor) a bordo da aeronave. O padrão de compressão de vídeo utilizado é o MPEG4 que permite compressões às taxas de 10:1 até 100:1 dependendo do conteúdo e da qualidade desejada. À taxa de 10:1, seriam transmitidos 7.680 *bits* em 1 segundo do vídeo em questão. Utilizando a banda disponível, seria possível transmiti-lo em tempo real. Porém, aumentando a taxa de quadros de 2 *fps* para 3 *fps*, por exemplo, já não seria possível pois em 1 segundo teriam que ser transmitidos 11.520 bits (80x60x8x3÷10) e este valor é superior à banda utilizada. Nesses casos, a alternativa para transmissão é aumentar a compressão ou utilizar os serviços do protocolo FTP para fazer o *download* do arquivo de vídeo.

O processo de requisição e entrega de vídeos através de telecomandos é detalhado a seguir.

Entradas	Requisição HTTP: www.aeronavearara.com.br/araraimagevideo.htm Instrução: obter seqüência de vídeo Parâmetros: seleção da câmera, resolução, taxa de quadros, profundidade de cores e duração.
Script	<code>get_video.cgi</code>
Processamento	(1) Cliente faz requisição HTTP; (2) Servidor envia formulário; (3) Cliente preenche formulário e envia nova requisição HTTP: GET www.aeronavearara.com.br/scripts/get_video?cam=cameral&resl=60&resc=80&cor=8&fps=2&dur=30 HTTP/1.1 (4) Servidor entrega a requisição para o <i>script</i> <code>get_video.cgi</code> ; (5) <i>Script</i> processa os dados e faz a chamada a outro aplicativo no servidor; (6) Servidor executa o aplicativo que envia comandos para a interface de comunicação com a câmera de vídeo iniciando a captura do vídeo; (7) Aplicativo armazena o vídeo em um diretório; (8) Aplicativo devolve resultado (sucesso ou erro) da execução da instrução para o <i>script</i> ; (9) <i>Script</i> gera saída.
Saídas	a) Documento HTML com mensagem de confirmação da obtenção do vídeo requisitado informando o caminho do arquivo de vídeo para FTP. b) Documento HTML gerado <i>on the fly</i> pelo <i>script</i> com o vídeo solicitado. c) Documento HTML com a mensagem de erro.

5.1.7. SOLICITAÇÃO DE DADOS DE TELEMETRIA

Os dados de telemetria estão em constante atualização, pois representam os valores dos sensores e dos instrumentos a bordo da aeronave. Esses dados devem ser monitorados o tempo todo a partir da Estação Base, pois descrevem as características do voo e a situação da aeronave.

Alguns dados de telemetria mudam de valor com mais frequência do que outros. Para evitar tráfego desnecessário na rede de dados que não são alterados frequentemente, é possível determinar parâmetros de configuração para essa comunicação. Para isto, é desejável que os dados de telemetria sejam agrupados em pacotes de acordo com a frequência de atualização (o detalhamento dos tipos de pacotes de telemetria é apresentado na seção 5.2.1 deste capítulo).

A partir da interface desenvolvida para requisição de dados de telemetria no cliente, o operador do sistema determina o intervalo de tempo de envio de cada tipo de pacote de telemetria e submete a requisição ao servidor. É possível ainda, determinar quais dados em cada pacote serão ou não transmitidos. A interface em questão é um formulário HTML que é apresentado no navegador na máquina cliente. Esta interface está ilustrada na próxima seção.

Entradas	Requisição HTTP: www.aeronavearara.com.br/araratelemetrydata.htm Instrução: obter dados de telemetria. Parâmetros: tipos de pacotes, dados de cada tipo de pacote e intervalos para cada tipo de pacote.
Script	<code>get_telemetry_data.cgi</code>
Processamento	(1) Cliente faz requisição HTTP; (2) Servidor envia formulário; (3) Cliente preenche formulário e envia nova requisição HTTP: <code>POST www.aeronavearara.com.br/scripts/get_telemetry_data?</code> <code>HTTP/1.1</code> (4) Servidor entrega a requisição para o <i>script</i> <code>get_telemetry_data.cgi</code> ; (5) <i>Script</i> processa os dados e faz a chamada a outro aplicativo no servidor; (6) Servidor executa o aplicativo que coleta dados de todos os sensores e instrumentos a bordo da aeronave através da rede de sensores; (7) Aplicativo devolve dados dos sensores e instrumentos para o <i>script</i> ; (8) Servidor e cliente criam uma conexão auxiliar utilizando <i>sockets</i> ; (9) Servidor permanece enviando dados de telemetria através da conexão auxiliar até que esta seja encerrada; (10) Servidor envia confirmação da execução das instruções para o <i>script</i> ; (11) <i>Script</i> gera saída.
Saídas	a) Documento HTML com mensagem sucesso. b) Documento HTML com mensagem erro.

A conexão auxiliar utilizando *sockets* criada no passo (8) é detalhada no diagrama da Figura 5.3.

Figura 5.3 - Esquema de conexão utilizando sockets

O cliente cria um *socket* e lhe atribui um endereço de destino composto por número de porta e número de IP. Por sua vez, o servidor cria um *socket*, lhe atribui um endereço (IP + porta) conhecido pelos clientes e fica escutando chamadas. O cliente solicita uma conexão ao servidor e aguarda uma resposta. O servidor aceita a conexão solicitada pelo cliente. O cliente envia uma mensagem de requisição de dados de telemetria ao servidor. O servidor recebe a mensagem de requisição, processa a solicitação obtendo os valores de todos os sensores e instrumentos a bordo da aeronave e envia a mensagem de resposta para o cliente. Todas as mensagens trocadas entre cliente e servidor são datagramas UDP.

Quando o cliente obtém a resposta do servidor, os datagramas UDP estarão disponíveis na porta de entrada especificada no início da conexão. O serviço de coleta e interpretação de dados de telemetria obtém os datagramas UDP e os interpreta. Esta interpretação consiste em ler o *array* de *bytes* do datagrama UDP e identificar o tipo de pacote de telemetria enviado (Tipo I, Tipo II ou Tipo III). Em seguida, são identificados cada *byte* do *payload* deste datagrama com o

intuito de gerar uma saída compreensível para o operador. A saída gerada é um documento XML (*Extensible Markup Language*). Este documento pode ser visto no navegador Web utilizando um estilo de apresentação determinado em um documento XSL ou pode ser lido por qualquer outro aplicativo construído especificamente para formatar os dados para apresentação ao operador.

5.1.8. SOLICITAÇÃO DE PLANO DE VÔO

Durante a missão de uma aeronave ARARA, o operador pode desejar solicitar o plano de vôo em execução através da submissão de um telecomando na Estação Base.

O resultado desta solicitação deve ser um documento HTML com o texto semelhante ao produzido pelo aplicativo Planejador de Missão desenvolvido no trabalho de mestrado de [Barbosa, 2001]. O arquivo texto é constituído por todas as informações sobre os *waypoints*, as tarefas e pré-requisitos da missão. Este arquivo é interpretado pelo Sistema de Navegação também desenvolvido por [Barbosa, 2001].

A seguir, são apresentados os detalhes do telecomando para solicitar plano de vôo.

Entradas	Requisição HTTP: www.aeronavearara.com.br/araratelecommand.htm Instrução: obter plano de vôo Parâmetros: nenhum
Script	<code>get_flight_plan.cgi</code>
Processamento	(1) Cliente faz requisição HTTP; (2) Servidor envia formulário; (3) Cliente seleciona opção no formulário e envia nova requisição HTTP: <code>GET www.aeronavearara.com.br/scripts/get_flight_plan? HTTP/1.1</code> (4) Servidor entrega a requisição para o <i>script</i> <code>get_flight_plan.cgi</code> ; (5) <i>Script</i> processa os dados e faz a chamada a outro aplicativo no servidor; (6) Servidor executa o aplicativo que obtém o arquivo texto com as informações do plano de vôo; (7) Aplicativo devolve arquivo texto para <i>script</i> ; (8) <i>Script</i> gera saída.
Saídas	a) Documento HTML com arquivo texto com o plano de vôo. b) Documento HTML com mensagem de erro.

Um exemplo do arquivo produzido é mostrado a seguir.

```
0:27:30:57:N:69:21:47:L:1200:F:0:0:0:F:0:00:F:0
1:05:09:33:S:38:24:28:L:1200:T:0:0:0:F:0:00:T:0
2:34:58:05:S:14:54:16:O:1200:F:0:0:0:T:0:60:F:0
3:38:24:28:N:28:39:45:O:1200:F:0:0:0:F:0:00:F:0
```

No exemplo de arquivo apresentado, todos os campos são separados por `:`. O primeiro campo é um identificador do *waypoint*. Os próximos quatro campos indicam a latitude e os quatro seguintes indicam a longitude. O décimo campo representa a altitude da aeronave. O campo seguinte é a *flag* para a missão *Tirar fotografia*. Os três campos seguintes a esse representam, respectivamente, o número de fotos a ser obtido, a precisão e o intervalo entre as fotos. Em seguida, um outro *flag* que representa a missão *Filmar*. Os dois campos seguidos deste são a precisão e a duração da filmagem. Por fim, o último *flag* que representa o término da missão. O último campo indica a precisão para término da missão.

5.1.9. CONFIGURAÇÃO DO PLANO DE VÔO

Esta função de telecomando é útil caso o operador do sistema necessite carregar um novo plano de vôo em uma aeronave que já se encontra em operação.

A interface de entrada dos dados é semelhante àquela desenvolvida para o módulo Planejador de Missão [Barbosa, 2001].

Entradas	Requisição HTTP: www.aeronavearara.com.br/araraflightplan.htm Instruções: carregar um novo plano de vôo Parâmetros: dados da missão, dados dos marcos e dados dos <i>waypoints</i> .
Script	<code>config_flight_plan.cgi</code>
Processamento	(1) Cliente faz requisição HTTP; (2) Servidor envia formulário; (3) Cliente preenche formulário e envia nova requisição HTTP: POST www.aeronavearara.com.br/scripts/config_flight_plan? HTTP/1.1 (4) Servidor entrega a requisição para o <i>script</i> <code>config_flight_plan.cgi</code> ; (5) <i>Script</i> processa os dados e faz a chamada a outro aplicativo no servidor; (6) Servidor executa o aplicativo que carrega o novo plano de vôo na aeronave; (7) Aplicativo devolve resultado (sucesso ou erro) da execução da instrução para o <i>script</i> ; (8) <i>Script</i> gera saída.
Saídas	a) Documento HTML com mensagem de sucesso na carga do novo plano de vôo. b) Documento HTML com mensagem de erro.

5.1.10. ABORTAR MISSÃO

É possível que o operador do sistema necessite que a aeronave retorne à base antes que a missão seja concluída. Para permitir que essa ação seja executada, foi implementado o telecomando para abortar a missão. Detalhes de como procede esta ação são descritos a seguir.

Entradas	Requisição HTTP: www.aeronavearara.com.br/ararachangemission.htm Instruções: abortar missão Parâmetros: nenhum
Script	<code>quit_mission.cgi</code>
Processamento	(1) Cliente faz requisição HTTP; (2) Servidor envia formulário; (3) Cliente seleciona opção no formulário e envia nova requisição HTTP: POST www.aeronavearara.com.br/scripts/quit_mission? HTTP/1.1 (4) Servidor entrega a requisição para o <i>script</i> <code>quit_mission.cgi</code> ; (5) <i>Script</i> processa os dados e faz a chamada a outro aplicativo no servidor; (6) Servidor executa o aplicativo que interfere na missão fazendo com que a aeronave retorne à base; (7) Aplicativo devolve resultado (sucesso ou erro) da execução da instrução para o <i>script</i> ; (8) <i>Script</i> gera saída.
Saídas	a) Documento HTML com mensagem de sucesso na execução da instrução. b) Documento HTML com mensagem de erro.

5.1.11. ABORTAR VÔO

Quando não é possível abortar a missão fazendo com que a aeronave retorne à base, o operador pode requisitar que o vôo seja suspenso imediatamente. Nesse caso, um comando é enviado para desligar o motor da aeronave e acionar o pára-quedas. Este telecomando é detalhado abaixo.

Entradas	Requisição HTTP: www.aeronavearara.com.br/ararachangemission.htm Instruções: abortar vôo Parâmetros: nenhum
Script	<code>quit_flight.cgi</code>
Processamento	(1) Cliente faz requisição HTTP; (2) Servidor envia formulário; (3) Cliente seleciona opção no formulário e envia nova requisição HTTP: POST www.aeronavearara.com.br/scripts/quit_flight? HTTP/1.1 (4) Servidor entrega a requisição para o <i>script</i> <code>quit_flight.cgi</code> ; (5) <i>Script</i> processa os dados e faz a chamada a outro aplicativo no servidor; (6) Servidor executa o aplicativo que interfere na missão desligando o motor da aeronave e acionando o pára-quedas; (7) Aplicativo devolve resultado (sucesso ou erro) da execução da instrução para o <i>script</i> ; (8) <i>Script</i> gera saída.
Saídas	a) Documento HTML com mensagem de sucesso na execução da instrução. b) Documento HTML com mensagem de erro.

5.2. TIPOS E FORMATOS DOS PACOTES

Como pode ser visto na seção anterior, algumas das funções de telecomando do sistema de comunicação compreendem a troca de pacotes de telemetria e de pacotes com dados de vídeo.

Como os dados de telemetria devem ser transmitidos freqüentemente, não é viável que o operador fique fazendo requisições HTTP ao servidor Web da aeronave o tempo todo. Para essa categoria de dados, não há necessidade de um canal confiável sendo somente necessário um controle de pacotes errados. A solução proposta e mais adequada é a utilização de *sockets* transmitindo datagramas UDP. Para transmitir pacotes com dados de vídeo também são utilizados datagramas UDP.

As seções seguintes descrevem o formato dos pacotes trocados na comunicação entre a aeronave e a Estação Base.

5.2.1. PACOTES DE DADOS DE TELEMETRIA

Os dados de telemetria são organizados em pacotes de acordo com a frequência de atualização dos mesmos pelos sensores e instrumentos da aeronave. São divididos em três tipos de pacotes:

- Tipo I: Pacote de dados com as características do voo e posição da aeronave;
 - Velocidade (velocímetro)
 - Velocidade (GPS)
 - Altitude (altímetro)
 - Altitude (GPS)
 - Climb
 - Horizonte artificial (Rolagem)
 - Horizonte artificial (Arfagem)
 - Horário (GPS)
 - Latitude
 - Longitude
 - Orientação da bússola
 - Giro direcional
 - *Position dilution of precision*
 - *Horizontal dilution of precision*
 - *Vertical dilution of precision*
- Tipo II: Pacote de dados de medição dos instrumentos do motor;
 - Nível do combustível
 - RPM
 - Bateria do motor
 - Temperatura do motor
 - Temperatura dos gases do motor
 - Temperatura externa
- Tipo III: Pacote de dados complementares.
 - Bateria do sistema
 - Bateria auxiliar 1
 - Bateria auxiliar 2
 - Bateria auxiliar 3
 - Satélites em uso
 - Satélites em vista
 - Data (GPS)

Estes pacotes de dados têm a estrutura baseada em datagramas UDP (Figura 5.4).

Figura 5.4 - Estrutura do datagrama UDP

Um datagrama é composto de 2 áreas: a área do *header* e a área de dados (ou *payload*).

O *header* do pacote UDP tem apenas quatro campos cada um consistindo em 2 bytes. Os números de portas identificam os processos emissor e receptor da mensagem. O campo de comprimento especifica o comprimento em *bytes* do pacote UDP incluindo o *header*. O *checksum* (ou soma de verificação) é utilizado pelo receptor para verificar se foram introduzidos erros no pacote. Esse último campo é opcional. A estrutura descrita está representada na Figura 5.5.

Figura 5.5 - Header UDP

Ainda sobre o datagrama UDP, o campo *payload* é a porção do pacote responsável por carregar os dados da aplicação. Como os dados de telemetria são divididos em três tipos de pacotes distintos, o *payload* para cada tipo é definido. Essa definição é detalhada nas seções seguintes.

Uma informação importante e que deve estar contida no *payload* do datagrama UDP é o código para detecção de erros. É utilizado o algoritmo CRC-16 (*Cyclic Redundance Code* de 16 bits). Como o protocolo não prevê retransmissões, o CRC-16 é somente utilizado para descartar os pacotes com erros.

A seguir, são apresentados os pacotes com os dados de telemetria.

5.2.1.1. PACOTES DO TIPO I

Byte	Dado	Tamanho
1 – 8	Header UDP	64 bits
9	Tipo do Pacote (0x30)	8 bits
10	Velocidade	16 bits
11,12	Altitude	16 bits (com sinal)
13,14	Climb	16 bits (com sinal)
15,16	Latitude (Graus)	16 bits (com sinal)
17,18,19,20	Latitude (Minutos)	32 bits (com sinal)
21,22	Longitude (Graus)	16 bits (com sinal)
23,24,25,26	Longitude (Minutos)	32 bits (com sinal)
27,28	Bússola	16 bits
29,30	Giro direcional	16 bits
31,32	Horizonte artificial (Arfagem)	16 bits
33,34	Horizonte artificial (Rolagem)	16 bits
35,36	Velocidade (GPS)	16 bits
37,38	Altitude (GPS)	16 bits (com sinal)
39,40,41,42	Position dilution of precision (GPS)	32 bits
43,44,45,46	Horizontal dilution of precision (GPS)	32 bits
47,48,49,50	Vertical dilution of precision (GPS)	32 bits
51	Hora (GPS)	8 bits
52	Minutos (GPS)	8 bits
53	Segundos (GPS)	8 bits
54,55	CRC	16 bits (com sinal)
Total		440 bits (55 bytes)

Figura 5.6 - Pacote de Telemetria do Tipo I

5.2.1.2. PACOTES DO TIPO II

Byte	Dado	Tamanho
1 - 8	Header UDP	64 bits
9	Tipo do Pacote (0x31)	8 bits
10	Nível de combustível	8 bits
11,12	RPM (Rotações por minuto)	16 bits
13,14	Temperatura do motor	16 bits
15,16	Temperatura dos gases do motor	16 bits
17,18	Temperatura externa	16 bits (com sinal)
19	Bateria do motor	8 bits
20,21	CRC	16 bits (com sinal)
Total		168 bits (21 bytes)

Figura 5.7 - Pacote de Telemetria do Tipo II

5.2.1.3. PACOTES DO TIPO III

Byte	Dado	Tamanho
1 - 8	Header UDP	64 bits
9	Tipo do Pacote (0x32)	8 bits
10	Bateria do sistema	8 bits
11	Bateria auxiliar 1	8 bits
12	Bateria auxiliar 2	8 bits
13	Bateria auxiliar 3	8 bits
14	Satélites em vista (GPS)	8 bits
15	Satélites em uso (GPS)	8 bits
16	Dia (GPS)	8 bits
17	Mês (GPS)	8 bits
18	Ano (GPS)	8 bits
19,20	CRC	16 bits (com sinal)
Total		180 bits (20 bytes)

Figura 5.8 - Pacote de Telemetria do Tipo III

5.2.2. PACOTES COM DADOS DE SEQUÊNCIAS DE VÍDEO

Como visto anteriormente, o protocolo RTP permite adicionar dados com seqüências numéricas de controle dos pacotes, *time stamping* e monitoramento da entrega encapsulados em pacotes UDP. A figura x ilustra o cabeçalho do pacote RTP.

Figura 5.9 - Header RTP

O campo *Tipo de carga* é usado para indicar o tipo de codificação que está sendo usada (MPEG2, MPEG4, H.263 etc). O campo *Nº de seqüência* é incrementado a cada pacote RTP enviado. Pode ser usado para detectar perdas de pacote e para recuperar a seqüência de pacotes. O campo *Marca do tempo* reflete o instante da amostragem do primeiro *byte* no pacote de dados RTP. O receptor pode usar este campo para obter sincronismo de reprodução. O campo *Identificador de sincronismo da fonte* identifica a fonte do fluxo RTP.

O tipo de carga especificado no *header* RTP para esse trabalho é o MPEG4. A exibição do vídeo pode ser feita através do aplicativo *Real Player* da Real Networks® . Para usar este

aplicativo, é necessário configurar as opções de transporte para determinar o protocolo desejado (TCP ou UDP) e para determinar a porta para recebimento dos dados [Real Networks, 2003].

O tamanho máximo de um datagrama UDP é de $2^{16}-1$, ou seja, 65.535 bytes. Como o header UDP ocupa 8 bytes e o header RTP ocupa mais 24 bytes sobram 65.503 bytes para payload. A Figura 5.10 ilustra o pacote para transmissão das sequências de vídeo da aeronave para a Estação Base.

Byte	Dado	Tamanho
1 - 8	Header UDP	64 bits
9 - 20	Header RTP	96 bits
21- 65.503	MPEG4 video payload	523.864 bits
Total		524.024 bits (65.503 bytes)

Figura 5.10 - Pacote de sequências de vídeo

5.3. INTERFACES DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

5.3.1. UPLOAD

5.3.1.1. TELECOMANDOS

A Figura 5.11 ilustra a interface inicial para submissão de telecomandos que podem ser executados na aeronave. Alguns dos telecomandos retornam resultados outros retornam apenas a confirmação de que a execução na aeronave foi bem sucedida. Todos os resultados de execução de telecomandos podem ser apresentados em documentos HTML.

Figura 5.11 - Interface com as funções de Telecomando

CALIBRAR INSTRUMENTOS A BORDO DA AERONAVE

O primeiro conjunto de telecomandos da interface principal é *Calibrar instrumentos a bordo da aeronave*. Este link direciona o operador para a interface que está ilustrada na Figura 5.12.

A screenshot of a web browser window titled "Aeronave ARARA III - Instrumentos de bordo". The browser is Microsoft Internet Explorer. The page has a blue header with the title "Aeronave ARARA III" and a sub-header "Instrumentos de Bordo". Below the header, there is a date and time display: "Data da Missão: 08/08/2003" and "Início da Missão: 10:05:30 AM". The main content area is divided into four sections, each with a "Submeter" button:

- Calibrar Altimetro**: A text input field labeled "Pressão local" with the value "20" and a "Submeter" button.
- Calibrar Bússola**: Two radio buttons, "Iniciar calibragem" (selected) and "Parar calibragem", followed by a "Submeter" button.
- Configurar câmeras de vídeo**: Two columns of radio buttons. The left column has "Câmera 1" and "Vídeo" (selected). The right column has "Câmera 2" and "Vídeo" (selected). Below these is a "Submeter" button.
- Configurar câmera fotográfica**: Two text input fields, "Resolução" with the value "380" and "Profundidade de cores" with the value "24", followed by a "Submeter" button.

At the bottom right of the page, there is a link "Voltar para página de telecomandos". The browser's status bar at the bottom shows the file path "file:///E:/Darveto/Disertacao/Html/ARARATelecommand.htm" and the text "Meu computador".

Figura 5.12 - Interface para calibrar instrumentos a bordo da aeronave

DEFINIR PLANO DE VÔO

Uma outra função de telecomando presente na interface inicial é um outro *link* para a interface da Figura 5.13 que é *Definir Plano de Vôo*. Esta interface permite configurar uma nova missão determinando os marcos e *waypoints* desejados.

Quando o botão *Carregar plano de vôo* é acionado, todos os parâmetros do formulário são enviados para o servidor. Estes parâmetros são processados no servidor pelo *script* CGI que gera um arquivo ASCII como ilustrado anteriormente na seção 5.1.8. Este arquivo com os dados do plano de vôo é carregado no servidor (aeronave) e processado pelo programa adequado. O resultado deste telecomando é um documento HTML informando se a instrução foi ou não realizada com sucesso.

Aeronave ARARA III

Definir Plano de Vôo

Missão

Nome:

Limites da zona

Latitude: (0° a 90°)

Longitude: (0° a 180°)

Marcos

Nome	Altitude	Latitude	Longitude
arara2	100 m	13 45 29 S	65 10 32 O

Waypoints

Nome:

Missão:

☒ Tirar fotografia Precisão: m Número: Intervalo: seg

☐ Filmar Precisão: m Duração: seg

☐ Finalizar missão Precisão: m

Parâmetros

Altitude: m

Latitude (0° a 90°):

Longitude (0° a 180°):

[Voltar para página de telecomandos](#)

Figura 5.13 - Interface para definição de um novo plano de vôo

INTERFERIR NA MISSÃO

Outras funções de telecomando são *Abortar missão* e *Abortar voo*. Estas funções podem ser submetidas através da interface ilustrada na Figura 5.14. O resultado da execução destes telecomandos é enviado ao operador através de um documento HTML.

Figura 5.14 - Interface para interferir na missão

SOLICITAR PLANO DE VÔO

A quarta função de telecomando é *Solicitar plano de voo*. Para essa função, foi desenhada uma interface que obtém o plano de voo que está sendo executado pela aeronave. O plano de voo é apresentado na interface no mesmo formato do arquivo texto gerado pelo módulo Planejador de voo [Barbosa, 2001] visto na seção 5.1.8.

Figura 5.15 – Interface com as características do plano de voo solicitado

SOLICITAR DADOS DE TELEMETRIA

A quinta função de telecomando na interface principal permite que o operador faça a *Solicitação de dados de telemetria* gerados na aeronave. Como já foi dito anteriormente, os dados de telemetria são agrupados em três tipos de pacotes de acordo com frequência de atualização dos dados provenientes dos sensores e instrumentos da aeronave. A interface proposta na Figura 5.16 permite configurar a frequência de transmissão de cada um destes pacotes.

Aeronave ARARA III

Data da Missão: 08/08/2003
Início da Missão: 10:05:30 AM

Solicitação de dados de telemetria

Pacotes de Dados **Intervalo de transmissão**

☒ **Dados do Tipo I - Características do voo e posicionamento da aeronave**

☒ Velocidade (Velocímetro) ☒ Latitude
☒ Velocidade (GPS) ☒ Longitude
☒ Altitude (Altimetro) ☒ Orientação da Bússola
☒ Altitude (GPS) ☒ Curso direcional
☒ Climb ☐ Position dilution of precision
☒ Horizonte Artificial (Rolagem) ☐ Horizontal dilution of precision
☒ Horizonte Artificial (Arfagem) ☐ Vertical dilution of precision
☒ Horário (GPS)

1 segundo(s)

☒ **Dados do Tipo II - Medição dos instrumentos do motor**

☒ Nível do combustível ☒ Temperatura do motor
☒ RPM ☒ Temperatura dos gases do motor
☒ Bateria do motor ☒ Temperatura externa

10 segundo(s)

☒ **Dados do Tipo III - Dados complementares**

☒ Bateria do sistema ☒ Satélites em uso
☐ Bateria auxiliar 1 ☒ Satélites em vista
☐ Bateria auxiliar 2 ☒ Data (GPS)
☐ Bateria auxiliar 3

10 minuto(s)

Submeter Parar

[Voltar para página de telecomandos](#)

Figura 5.16 - Interface de solicitação de dados de Telemetria

SOLICITAR IMAGENS E SEQUÊNCIAS DE VÍDEO

A sexta e última função de telecomando da interface principal pode ser utilizada para *Solicitar imagens e seqüências de vídeo* que não foram previstas durante a geração do plano de voo. Através da interface representada pela Figura 5.17, o operador configura parâmetros de qualidade da imagem ou do vídeo, número de imagens, duração do vídeo entre outros dados.

Aeronave ARARA III - Solicitar imagens e sequências de vídeo - Microsoft Internet Explorer

Arquivo Editar Exibir Favoritos Ferramentas Ajuda

Aeronave ARARA III

Data de Missão: 08/08/2003
Início da Missão: 10:05:10 AM

Solicitar imagens e sequências de vídeo

Imagens

Configuração

Resolução: 380 x 420 pixels
Número de imagens: 4
Profundidade de cores: 24 bits
Intervalo entre as imagens: 16 seg

Apresentação

☒ Mostrar no navegador
☐ Dados disponível para FTP

Submeter

Sequências de Vídeo

Configuração

Câmera
☐ Câmera 1 (frente da aeronave)
☒ Câmera 2 (dorso da aeronave)

Resolução: 380 x 420 pixels
Profundidade de cores: 24 bits
Taxa de quadros: 10 fps (frames per second)

Correção

☒ Colorido
☐ Preto e branco

Intervalo

30 segundos

Submeter Parar

[Voltar para página de telecomandos](#)

file:///E:/Daniel/Doutorado/html/ARARATelecomand.htm

Mau computador

Figura 5.17 - Interface de solicitação de imagens e seqüências de vídeo

Foi mostrado anteriormente um cenário onde se transmitia imagens de alta qualidade e vídeos de baixa qualidade e baixa taxa de atualização. Estimou-se que a imagem de 480x320 *pixels* e profundidade de cores de 24 *bits* levaria 40 segundos para ser transmitida na banda disponível e o vídeo de 80x60 *pixels*, profundidade de cores de 8 *bits*, e taxa de 2 quadros por segundo poderia ser transmitido em tempo real. Considerando que o custo por minuto do serviço GlobalStar para transmissão de dados é de R\$ 2,00, a transmissão da foto irá custar R\$ 1,35 e do vídeo, R\$ 1,00!

5.3.2. DOWNLOAD

5.3.2.1. DADOS DE TELEMETRIA

Os dados de telemetria são requisitados por meio da submissão do telecomando *Solicitar dados de telemetria*. Uma vez feita a solicitação de envio dos dados de telemetria pela aeronave, é aberta uma conexão auxiliar como foi explicado na seção 5.1.7. Esta conexão fica enviando os pacotes com os dados de telemetria de acordo com os parâmetros especificados na interface de solicitação (Figura 5.16). Esses pacotes são coletados pelo serviço de coleta, interpretados e posteriormente podem ser formatados de acordo com a interface da Figura 5.18.

Aeronave ARARA III	
Data de voo: 08/08/2003 Início de voo: 10:08:30 AM Hora atual (GPS): 10:20:10 AM	
Satélites em vista: 8 Satélites em uso: 4	
Dados de Telemetria	
Características de voo	
Velocidade (velocímetro)	82 Km/h
Velocidade (GPS)	81,5 Km/h
Altitude (altímetro)	123 m
Altitude (GPS)	122,75 m
Climb	10 m
Posicionamento da aeronave	
Latitude	22° 13'
Longitude	23° 10'
Orientação da bússola	175°
Círculo direcional	120°
Horizonte artificial (Adragem)	150°
Horizonte artificial (Rolagem)	210°
Position dilution of precision	-
Horizontal dilution of precision	-
Vertical dilution of precision	-
Medidas dos instrumentos do motor	
Nível de combustível	56 %
RPM	12.500
Temperatura do motor	210° C
Temperatura dos gases do motor	30° C
Temperatura externa	15° C
Bateria do motor	60 %
Dados complementares	
Bateria do sistema	80%
Bateria auxiliar 1	100%
Bateria auxiliar 2	100%
Bateria auxiliar 3	100%

Figura 5.18 - Interface de monitoramento de dados de Telemetria

5.3.2.2. IMAGENS

A interface de requisição de imagens ilustrada na Figura 5.17 permite configurar duas maneiras de apresentação das imagens: pelo navegador ou por *download* via FTP. Quando o operador seleciona ver as imagens pelo navegador, um documento HTML é gerado *on the fly* pelo *script* CGI. Este documento tem aparência semelhante a ilustrada na Figura 5.19.

Figura 5.19 - Interface de resposta ao telecomando de solicitação de imagens

5.3.2.3. VÍDEOS

Os vídeos captados na aeronave através de telecomandos submetidos por um operador na Estação Base podem ser obtidos por FTP ou podem ser visualizados no navegador Web através do aplicativo *Real Player* devidamente configurado.

5.4. ALTERNATIVAS PARA COMUNICAÇÃO COM A AERONAVE

Para permitir uma maior interação com a aeronave a partir de qualquer navegador Web, servidores de FTP e de TELNET são configurados na aeronave.

Com o FTP, é possível transferir da aeronave os seguintes tipos de arquivos:

- Fotos que foram captadas a partir de telecomandos submetidos por um operador ou pelo plano de missão;
- *Logs* de auditoria dos comandos executados. Esses *logs* são gerados sempre que um telecomando ou comando do piloto automático é submetido à aeronave;
- *Logs* de auditoria com dados de telemetria. Esses *logs* são gerados continuamente pelo *software* da aeronave;
- Sequências de vídeo captadas a partir de telecomandos submetidos pelo operador ou pelo plano de missão.

A estrutura para *download* desses arquivos via FTP é a seguinte (Figura 5.20):

```
ftp
├── photos
├── telecommand_log
├── telemetry_log
└── video
```

Figura 5.20 - Estrutura de arquivos para FTP

O protocolo TELNET pode ser utilizado para estabelecer conexões remotas com a aeronave. Com a conexão remota, é possível verificar os processos que estão sendo executados na aeronave ou mesmo interferir diretamente no sistema desta caso seja necessário.

5.5. SUMÁRIO

Este capítulo apresentou o sistema definido para comunicação entre aeronaves de fase III do projeto ARARA e uma Estação Base em solo.

Utilizando protocolos das camadas de aplicação e de rede da Internet, foi possível implementar todas as funções de telecomando previstas para a fase III do projeto ARARA. Em alguns casos, foi necessário especificar a estrutura dos pacotes de resposta quando o resultado das requisições não era um documento HTML e sim pacotes que deveriam ser obtidos e interpretados por mecanismos auxiliares.

O capítulo também apresentou todas as interfaces de interação do operador com a aeronave e ainda algumas alternativas para comunicação com a aeronave.

No próximo capítulo são apresentadas as conclusões deste trabalho.

Capítulo 6

CONCLUSÕES

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este trabalho teve por objetivo seleccionar um canal de comunicação que permitisse a transmissão de dados a longa distância entre as aeronaves de fase III do projeto ARARA e uma estação em solo. Para seleccionar este canal, foram revistos os conceitos de comunicação sem fio, as tecnologias disponíveis no mercado e outros tópicos relacionados.

De acordo com os requisitos propostos, o canal adequado para esta fase do projeto é baseado em sistemas de satélites de baixa órbita provendo ampla cobertura e confiabilidade na entrega dos dados.

Um *modem* para permitir a comunicação também foi seleccionado. Este dispositivo é de baixo custo, possui pequenas dimensões, tem peso razoável e baixo consumo de energia sendo, portanto, totalmente adequado às necessidades do projeto. O *modem* é conectado ao microcomputador a bordo da aeronave e configurado adequadamente para permitir conexões com a Internet.

Um sistema de comunicação entre as aeronaves e a estação em solo foi implementado. Na arquitetura proposta para este sistema de comunicação, a aeronave tem o papel de servidor enquanto que a estação em solo é o cliente.

Dentre os serviços para transmissão de dados disponíveis no Brasil, o escolhido foi o Internet GlobalStar da rede de satélites GlobalStar. Neste serviço, o acesso é feito via satélite e a

transmissão de dados é via Internet. Porém, a taxa de transmissão de dados não é totalmente satisfatória havendo restrições na transmissão de imagens e vídeos.

A eficiência do canal selecionado é mostrada na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Eficiência do canal de comunicação selecionado

Tipo de arquivo	Características	Sem compressão	Com compressão	Tempo de transmissão
Dados	Todos os pacotes com dados de telemetria	788 bits (440+168+180)	-	82 milisegundos
Imagem	Resolução de 480x320 <i>pixels</i> e 24 bits por <i>pixel</i> .	3.686.400 bits (480x320x24)	368.640 bits (10:1)	38,4 segundos
Vídeo	Resolução de 80x60 <i>pixels</i> , 8 bits por <i>pixel</i> , taxa de quadros de 2 <i>fps</i> .	76.800 bits (80x60x8x2)	7.680 bits (10:1)	Em tempo real

Para implementação das funções do sistema de comunicação proposto neste trabalho, foram utilizados protocolos de Internet conhecidos. Um servidor Web para prover as páginas HTML com as funções implementadas foi configurado na aeronave. Esta solução permitiu uma interação bastante simples entre a aeronave e o operador através do uso de qualquer navegador Web.

6.1. CONTRIBUIÇÕES DESTE TRABALHO

A principal contribuição deste trabalho é a seleção de um canal de enlace de dados de longa distância para comunicação com aeronaves do projeto ARARA. Com este canal, as aeronaves podem adquirir um maior alcance ultrapassando distâncias maiores do que 10 Km da estação em solo conseguidas atualmente com os *modems* de rádio.

Outras contribuições importantes são:

- Estudo das tecnologias de comunicação sem fio a longa distância em função dos requisitos não funcionais do sistema;
- Especificação e implementação dos algoritmos para as funções que possibilitam interferir em uma missão pré-programada;

- Utilização de protocolos de Internet conhecidos para implementar as funções de telecomando;
- Facilidade de acesso à aeronave através de qualquer navegador Web e em qualquer localidade;
- Desenvolvimento de uma interface baseada em documentos HTML e *scripts* CGI para interação entre aeronave e operador;
- Especificação de um serviço para coleta e interpretação dos dados obtidos dos sensores e instrumentos a bordo da aeronave. Estes dados ficam disponíveis em um documento XML que pode ser lido por qualquer aplicativo ou apresentado em um navegador Web. O documento XML gerado pode ser utilizado para análise do voo da aeronave;
- Introdução de um microcomputador a bordo da aeronave viabilizando maior capacidade de processamento para realização de missões mais complexas previstas para a fase IV deste projeto;
- Incremento no número de serviços que podem ser prestados através do sistema de comunicação entre a Estação Base em solo e a aeronave.

6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS E CONTINUIDADE DA PESQUISA

A seguir, relaciona-se uma série de tarefas que dão continuidade ao trabalho até aqui desenvolvido. O nível desses trabalhos, na maioria dos casos, é adequado para um programa de mestrado e outros podem ser aplicados em projetos de iniciação científica.

- Aquisição dos terminais ou *modems* para comunicação via satélite e montagem de uma bancada de testes;
- Implementar e testar os algoritmos das funções de telecomando;
- Implementar as funções de transmissão de vídeo em qualquer resolução;
- Desenvolver uma interface gráfica em HTML para o planejamento de missões permitindo a utilização de mapas digitais de uma área, de fotografias aéreas ou de

esboços acrescidos de marcos para traçar uma rota e definir tarefas em cada *waypoint* desta rota;

- Desenvolver uma interface gráfica em HTML para visualizar os dados de telemetria. Nesta interface, o operador poderá acompanhar a trajetória feita pela aeronave e verificar em qual ponto foi tirada uma determinada fotografia ou exibir um trecho que foi filmado durante a missão, por exemplo;
- Em momento oportuno, realizar testes com terminais de telefonia celular móvel que usam tecnologia GSM/GPRS.

REFERÊNCIAS

- [Anatel, 2003] ANATEL – AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. “*Quadro de Atribuição de Faixas de Freqüência no Brasil*”. <http://www.anatel.gov.br/index.asp?link=/Radiofrequencia/qaff.pdf>: 2003
- [Barbosa, 2001] BARBOSA, L. C. P. “*SiNaCoM – Sistema de navegação e controle de missão do Projeto ARARA*”. Dissertação de Mestrado - ICMC – Universidade de São Paulo, São Carlos: 2001.
- [Bueno, 1996] BUENO, S. S. “*AURORA – Autonomous Unmanned Remote Monitoring Robotic Airship*”. http://www.ia.cti.br/~lrv/pr_robot/aurora.html: 1996.
- [Casella, 1998] CASELLA, I. R. S. “*Análise de um Método de aquisição em dois estágios para um sistema DS / CDMA*”, São Paulo, 1998. 305p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica – Departamento de Engenharia Eletrônica, Universidade de São Paulo.
- [Ccir, 2001] CCIR - *International Telegraph and Telephone Consultative Committee*. “*Standard Codes and Formats for International Radiopaging*”. <http://www.sigmasrl.it/lbarbi/systems/ccir5841.htm>: 2001.
- [Del Frate, 1998] DEL FRATE, J. H. e CONSENTINO, G. B. “*Recent Flight Test Experience with Uninhabited Aerial Vehicles at the NASA Dryden Flight Research Center*”. NASA/TM-1998-206546, Dryden Flight Research Center Edwards; California: 1998.
- [Elfes, 1998] ELFES, A., BUENO, S. S. B., JOSUÉ, M. B. J. e RAMOS, G. “*A Semi-Autonomous Robotic Airship for Environmental Monitoring Missions*”. *Automation Institute Informatics Technology Center*, Campinas - SP: 1998.
- [Embratel, 2003] EMBRATEL. “*Conhecer os serviços para a minha empresa*”. <http://www.embratel.net.br/empresa/satelite/datasat-plus.html>: 2003.

-
- [Emmerson, 1997] EMMERSON, B. e GREETHAM, D. “*Computer Telephony and Wireless Technologies – Future Directions in Communications*”. Computer Technology Research Corp., South Carolina: 1997.
- [Fcc, 2003] FCC - *Federal Communications Commission*. <http://www.fcc.gov>: 2003.
- [Gillhousen, 1991] GILHOUSEN, K. S., JACOBS, Irwin M., PADOVANI, Roberto, Viterbi, Andrew J., WEAVER, Lindsay A. Jr., WEATHLEY, Charles E., “*On the Capacity of a Cellular CDMA System*”, IEEE *Transactions on Vehicular Technology*, vol. 40, No. 2, pp. 303-312: May 1991.
- [GlobalStar, 2003] GLOBALSTAR. “*Serviços de dados*”. <http://www.GlobalStar.com.br>: 2003.
- [GSM, 2003] GSM WORLD. “*What’s GPRS?*”. <http://www.gsmworld.com/technology/gprs/intro.shtml>: 2003.
- [Guimarães, 1999] GUIMARÃES, D. A. “*Introdução às comunicações móveis*”. Tutorial, Inatel, 1999.
- [Iridium, 2003] IRIDIUM. “*Iridium Satellite Solutions*”. www.iridium.com: 2003.
- [Itu, 2003] ITU – *International Telecommunication Union*. <http://www.itu.int>: 2003.
- [Jpeg, 2003] *JPEG Image Compression FAQ*. <http://www.faqs.org/faqs/jpeg-faq/part1/>: 2003
- [Kurose, 2003] KUROSE, J. F., ROSS, K. W., “*Redes de computadores e a Internet*”, Addison Wesley: 2003
- [Lee, 1995] LEE, W. C. Y. “*Mobile Cellular Telecommunications – Analog and Digital Systems*”, 2nd edition: McGraw-Hill, USA: 1995.

- [Linnartz, 1997] LINNARTZ, J. P. *"Wireless Communication – The Interactive Multimedia CD-ROM"*. Baltzer Science Publishers, Amsterdam:1997.
- [Martinez, 1997] MARTINEZ, A. A. G. *"Sequências de códigos para uso em comunicação por espalhamento espectral"*. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica – Departamento de Engenharia Eletrônica, USP, São Paulo: 1997.
- [Neris, 2001] NERIS, L. O. *"Um piloto automático para as aeronaves do Projeto ARARA"*. Dissertação de Mestrado – ICMC – Universidade de São Paulo, São Carlos: 2001.
- [Orbcomm, 2003] ORBCOMM. *"Technical Specifications"*. www.Orbcomm.com: 2003.
- [Panasonic, 2003] PANASONIC. *"Panasonic Satellite Communication Products: Satellite Communicators"*. <http://www.panasonic.com/industrial/satcom/products/kxg7100.html>: 2003.
- [Quakeglobal, 2003] QUAKEGLOBAL. *"Products"*. <http://www.quakeglobal.com/products.htm>: 2003.
- [Rappaport, 1996] RAPPAPORT, T. S. *"Wireless Communications - Principles and Practice"*. IEEE Press, Inc., New York and Prentice Hall, Inc., New Jersey: 1996.
- [Real Networks, 2003] REAL NETWORKS – *Ajuda do Real Player 8 Plus*
- [Ribeiro, 1999] RIBEIRO, R. E. *"Uma Aeronave para Sensoriamento Remoto Monitorada por Computador"*. 60p. Qualificação (Mestrado) – ICMC - Universidade de São Paulo, São Carlos:1999.
- [Satlogitel, 2003] SATLOGITEL. *"GSP 1620"*. <http://www.satlogitel.it/prod/Gsp1620.htm>: 2003.

- [Souza, 1999] SOUZA, N. P., “*Sistemas Alternativos para Obtenção de Imagem Aérea e sua Aplicação na Agricultura*”, 124p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo: São Carlos: 1999.
- [Tanenbaum, 1996] TANENBAUM, A. S., “*Computer Networks*”. 3ed. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall PTR: 1996.
- [Telecelula, 2003] TELECELULA, “*Histórico das comunicações móveis*”; <http://www.telecelula.com.br>: 2003.
- [Teledesic, 2003] TELEDÉSIC, “*Internet in the sky*”; <http://www.teledesic.com>: 2003.
- [Telemoveis, 2003] TELEMÓVEIS, “GPRS – A solução para os problemas do WAP”; <http://www.telemoveis.com/articles/item.asp?ID=39>: 2003.
- [Telesp, 2003] TELESP CELULAR, “*Histórico do Sistema Móvel Celular*”; http://www.telespcelular.com.br/tcel/atc_tec_historico.shtml: 2003.
- [Telespazio, 2003] TELESPAZIO, <http://www.telespazio.com.br>: 2003
- [Wireless, 2003] RODRIGUES, Márcio E. C., Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio - Abril de 2000.
- [Yacoub, 1993] YACOUB, M. D. “*Foundations of Mobile Radio Engineering*”. CRC Press, New York: 1993.

Apêndice A. AERONAVE ARARA III

A aeronave ARARA III em construção no Laboratório de Computação de Alto Desempenho (LCAD) do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da USP – São Carlos foi projetada de forma a minimizar custos e diminuir o tempo de construção.

Esta aeronave é composta em sua estrutura de materiais simples e de fácil manuseio, possui boa manobrabilidade, sustentação e alta resistência a quedas. Sua fuselagem é composta de um tubo de PVC comum de 1,3 milímetros de espessura, onde são abrigados os dispositivos eletrônicos. Um tubo de alumínio de 1 milímetro de espessura conecta a cauda à fuselagem da aeronave.

As asas são de isopor revestido por madeira e plástico adesivo. Devido à instalação de câmeras em sua parte frontal, o motor está posicionado sobre as asas. O seu peso total corresponde a 15 Kg, podendo transportar até 5 kg de carga útil.

Empregada principalmente no monitoramento, inspeção e coleta de dados em áreas desprovidas de locais de pouso, a aeronave ARARA III não possui sistemas de aterrissagem (trem de pouso). A sua decolagem pode ser realizada com o auxílio de uma catapulta. O seu pouso é realizado através de um pára-quedas instalado na fuselagem.

A Tabela 6.2 apresenta as especificações da aeronave ARARA III e alguns parâmetros de desempenho da mesma.

Tabela 6.2 - Especificações e parâmetros de desempenho da aeronave

Especificações	
Peso Total	15 Kg
Carga útil	5 Kg + 10 litros de combustível
Envergadura	3 m
Desempenho	
Velocidade máxima	120 Km/h
Velocidade média	80 Km/h
Altura máxima alcançada	4 Km
Altura média de voo	100 m

Apêndice B. O SISTEMA DE COMUNICAÇÃO CELULAR GSM E O SERVIÇO GPRS

O sistema GSM foi projetado originalmente para transportar voz, mas com o tempo, a tecnologia possibilitou-lhe operar em modo de transferência de dados.

Os terminais operam por comutação de circuitos, ou seja, dois interruptores (o emissor e o receptor) precisam estar ligados para que exista transmissão de informação. Isto faz com que as ligações possuam tempos de espera, devido à necessidade dos dois *modems* estarem conectados um ao outro simultaneamente e que a chamada esteja sempre em curso, mesmo quando não existe transferência de dados. Esta forma de transmissão é extremamente limitada em termos de capacidade, apesar de estarem sendo desenvolvidas tecnologias como o HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*) que permitirão velocidades máximas de 56 Kbps. Outro problema é o fato dessa tecnologia não suportar o padrão IP impossibilitando o acesso direto à Internet.

B.1. O SERVIÇO GPRS

O GPRS vem complementar o GSM, adicionando um sistema baseado na transmissão de pacotes de dados à rede já existente. O processo é feito de forma bastante simples sendo apenas necessário o acréscimo de alguns elementos à infra-estrutura já existente e um *upgrade* de parte do *software* utilizado na rede.

Num sistema IP, os dados são divididos em pacotes que são enviados separadamente. A informação trafega através da rede até chegar ao seu destino, quando é reconstituída e apresentada na sua forma original. Todas as peças que compõem os dados estão relacionadas umas com as outras, mas a forma como trafegam e são reagrupadas varia. Isto possibilita uma utilização mais eficiente do espectro de rádio disponível, devido a não ser necessária a utilização exclusiva de um canal de rádio para a transmissão de um ponto a outro. Durante o tráfego, os vão utilizando as frequências disponíveis, o que permite que um número elevado de usuários de GPRS possa compartilhar a mesma largura de banda e a mesma célula.

A utilização do protocolo IP possibilita o acesso direto à Internet a partir do aparelho móvel. As redes móveis passarão a utilizar o mesmo sistema de transmissão de dados que a

Internet, o que permitirá que todos os serviços disponíveis atualmente *on-line* possam ser acessados num aparelho móvel, sem a necessidade de uma linguagem mais simplificada como a utilizada no WAP [Telemoveis, 2003]. Com isso, cada aparelho GPRS poderá ter o seu próprio endereço IP e ser identificado na rede por esse número.

O GPRS permite ainda uma maior eficiência na utilização da rede GSM, pois utiliza e distribui mais eficientemente as escassas frequências de rádio disponíveis, permitindo que os usuários possuam uma ligação permanente. Ao mesmo tempo permite aliviar o tráfego nos sistemas GSM e SMS, pois parte da transmissão de informações passará a ser transmitida através do sistema GPRS [Telemoveis, 2003].

As principais propriedades do serviço de transmissão de dados GPRS são:

- Taxa de transmissão: velocidades de até 171,2 Kbps podem ser obtidas utilizando os 8 *timeslots* (espaços de tempo) ao mesmo tempo. Isto significa 3 vezes mais rápido do que a velocidade possível de transmissão de dados nas redes de telecomunicações fixas existentes atualmente. Além de prover transmissão mais rápida e mais eficiente através de redes móveis, o GPRS também é relativamente mais barato se comparado aos serviços SMS e *Circuit Switched Data* [GSM, 2003].
- Facilidade de conexões imediatas de modo que a informação possa ser enviada ou recebida assim que necessário. Não é necessário estabelecer conexões *dial-up* através de *modems*. A rapidez para efetuar conexões é uma das vantagens do GPRS quando comparado ao *Circuit Switched Data*. Essa característica é muito importante para aplicações críticas como, por exemplo, autorização remota de crédito.
- Novas aplicações: o GPRS permite diversas facilidades não disponíveis anteriormente em redes GSM devido a limitações na velocidade do *Circuit Switched Data* (9,6 Kbps) e no tamanho da mensagem do SMS (16 caracteres). Permite ainda habilitar aplicações Web utilizadas no *desktop*, transferência de arquivos e automação remota de aparelhos de uma residência ou escritório.

- Comutação por pacote: com o GPRS, a mensagem é dividida em pacotes separados mas relacionados antes de ser transmitida e remontada no destino.
- Eficiência do espectro: os recursos de rádio somente são usados quando os usuários estão enviando ou recebendo dados. Ao invés de dedicar um canal de rádio para um usuário por um período fixo de tempo, o recurso disponível de rádio pode ser compartilhado entre diversos usuários. Esse uso eficiente do escasso recurso de rádio significa que um grande número de usuários do serviço GPRS pode, potencialmente, compartilhar a mesma largura de banda e serem servidos por uma simples célula. O número atual de usuários suportados depende da aplicação sendo usada e da quantidade de dados sendo transferida.
- Internet: o GPRS permite total funcionalidade de Internet móvel provendo conexão entre a Internet existente e a nova rede GPRS. Qualquer serviço que seja usado na Internet fixa atualmente como, transferência de arquivos, *chat*, e-mail, telnet etc, estará disponível na rede móvel graças ao GPRS.
- Suporte a TDMA e GSM: o GPRS não é um serviço projetado somente para ser usado no padrão GSM de telefonia móvel digital. O padrão TDMA IS-136 também irá suportar o GPRS.

B.1.1. REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA QUE UM USUÁRIO POSSA USAR O GPRS

- Um telefone celular ou um terminal que suporte o GPRS (existem aparelhos GSM que não suportam);
- Uma assinatura em uma rede de telefonia móvel que suporte GPRS;
- Habilitação de uso: acesso automático ao GPRS deve ser concedido pela operadora de telefonia celular;
- Conhecimento de como enviar ou receber mensagens GPRS;
- Um destino para enviar ou receber mensagens através do GPRS. No SMS o destino era um outro aparelho. Já no caso do GPRS é provável ser um endereço

Internet, pois o GPRS está projetado para prover total disponibilidade da Internet para usuários móveis.

Aplicações para o GPRS

- *Chat*: acesso aos *chats* já existentes na Internet;
- Informação textual e visual;
- Imagens estáticas e dinâmicas: receber e visualizar fotografias, postais etc e enviar imagens de câmeras digitais;
- Navegação na web: com o GPRS torna-se possível acessar diretamente páginas HTML e ter acesso a todo o conteúdo dos *sites*, incluindo imagens;
- Compartilhar documentos e trabalho remoto colaborativo, permitindo diferentes pessoas em diferentes lugares trabalharem no mesmo documento ao mesmo tempo;
- Áudio;
- Expedição de *jobs* do escritório para o funcionário com um aparelho móvel;
- E-mail corporativo: facilita a entrega de e-mails para funcionários que estão fora de suas bases de trabalho;
- Posicionamento de veículos: um GPS associado ao serviço GPRS;
- Transferência de arquivos;
- Automação residencial.

B.2. LIMITAÇÕES DO GPRS

Apesar do salto que esta tecnologia representa, em termos de velocidade e de capacidade, as limitações existentes em termos de rede impedem que as velocidades máximas possam ser alcançadas.

O modo de funcionamento do sistema GSM divide as frequências disponíveis em *timeslots*, atribuindo esses espaços a chamadas telefônicas. Isto permite que cada frequência possa transportar vários canais de dados. Para atingir o limite máximo de 172.2 Kbps seria necessário que as operadoras destinassem todos os recursos para uma única chamada GPRS (atribuindo-lhe os 8 *timeslots*). Certamente um operador de rede não irá permitir que todos os *slots* sejam usados por somente um usuário.

Além disso, os primeiros terminais GPRS são limitados em termos do número de *timeslots* que podem suportar (somente até 3 *timeslots*). Conseqüentemente, a largura de banda disponível para um usuário GPRS também é limitada. Além disso, as chamadas de GPRS e de voz utilizam os mesmos recursos de rede, o que significa que um canal que irá transmitir dados não poderá ser utilizado para uma chamada telefônica normal.

No início, o resultado prático para as velocidades deverá ser de 28 Kbps. Esta taxa irá aumentar à medida que as operadoras e fabricantes fizerem melhorias na rede e nos terminais e disponibilizem mais *timeslots*.

Uma outra tecnologia em desenvolvimento permitirá um avanço nos sistemas de Internet móvel: o EDGE (*Enhanced Data rate for GSM Evolution*). O EDGE foi anunciado como a solução final para o GSM em termos de dados, sendo projetado com o objetivo de ser utilizado em conjunto com o GPRS. É um sistema de alta velocidade que permitirá triplicar os valores atingidos com o GPRS.

O protocolo IP tem inerente uma outra questão: o fato dos pacotes trafegarem separadamente, utilizando direções diferentes, pode ocasionar perdas ou danos em um ou mais pacotes durante a transmissão de dados no *link* de rádio. O padrão GPRS reconhece esta característica inerente de tecnologias *wireless* e incorporam estratégias de integridade de dados e retransmissão. Entretanto, o resultado é que *delays* podem ocorrer e por isso, as aplicações que requerem qualidade de distribuição de vídeo, por exemplo, devem ser implementadas usando HSCSD.

Uma outra característica contra o sistema GPRS é que não há mecanismos de armazenamento do tipo *store and forward*.

B.3. OS SERVIÇOS EDGE E UMTS

Com a introdução do EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*), haverá uma grande melhoria nas redes GSM em relação à transmissão de dados. Isto vai permitir serviços de entrega de dados multimídia com bastante qualidade. A EDGE oferecerá taxas de dados em média de 80-130 Kbps e mais altas de até 473 Kbps. A EDGE é a principal tecnologia para transmissão de dados na 3ª geração (próxima geração de telefonia móvel).

A UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) irá oferecer taxas de dados de 384 Kbps em ambientes móveis e mais altas de até 2 Mbps em ambientes fixos. A previsão é de que o número de assinantes UMTS crescerá para mais de 44 milhões até 2006. Até o ano de 2005, a previsão é de 1,5 bilhões de assinantes de serviços sem fio em todo o mundo ligados a redes TDMA, GSM e UMTS e a família de tecnologias GSM responderá por 80-85% do total de assinantes de serviços da próxima geração [GSM, 2003].

GLOSSÁRIO

<i>Altímetro</i>	Aparelho que indica o posicionamento vertical da aeronave, normalmente em pés, com base na pressão atmosférica.
<i>Arfagem</i>	Movimento rotacional sobre o eixo transversal.
<i>Climb</i>	Instrumento que indica a razão de subida em pés por segundo.
<i>Downlink</i>	Enlace de descida de sinais do satélite para o receptor em solo.
<i>Frame</i>	Conjunto de bits transmitido pela camada de enlace de dados.
<i>Gateway</i>	Equipamentos que fazem a conexão entre o sistema de satélites e a rede de telefonia fixa ou móvel.
<i>Handoff</i>	Processo através do qual o sistema transfere a comunicação com um terminal móvel de um canal ou estação base para outro canal ou outra estação base.
<i>Horizonte Artificial</i>	Também chamado de indicador de atitude, é um instrumento que indica qual é a posição da aeronave em relação ao horizonte. Possui 2 movimentos: lateral - mostra a inclinação da aeronave no seu eixo de rolamento ou longitudinal e - horizontal - mostra a inclinação da aeronave no seu eixo lateral ou transversal.
<i>Ionosfera</i>	Camada de partículas que circula a Terra a uma altitude de 100 a 500 Km da superfície.
<i>Magnetômetro</i>	Instrumento que mede o campo magnético.
<i>Multipath ou Multipercurso</i>	Sinais multipath são sinais que chegam por mais de um caminho.
<i>Rolagem</i>	Movimento rotacional sobre o eixo longitudinal.
<i>Rx</i>	Recepção
<i>Transponder</i>	Recebem uma parte do espectro, amplificam o sinal de entrada e retransmitem em outra frequência para evitar interferência com o sinal de entrada.
<i>Troposfera</i>	Camada de partículas que circula a Terra a uma altitude de até 10 Km da superfície.

<i>Tx</i>	Transmissão
<i>Uplink</i>	Enlace de subida de sinais do transmissor em solo para o satélite.
<i>Velocímetro</i>	Aparelho que indica a velocidade relativa do ar, em knots, também denominada velocidade indicada.
<i>Waypoints</i>	Coordenadas de uma posição no globo terrestre. As coordenadas são especificadas em latitude, longitude e altitude.