

**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
SECRETARIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA**

ALOISIO SILVEIRA CAMPOS JUNIOR

**COMPARAÇÃO ENTRE O SISTEMA RADIO MODEM X TETRA
APLICADO A SINALIZAÇÃO E LICENCIAMENTO DE TRENS
DE CARGA DA MRS**

Rio de Janeiro

2006

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

ALOISIO SILVEIRA CAMPOS JUNIOR

**COMPARAÇÃO ENTRE O SISTEMA RADIO MODEM X TETRA APLICADO
A SINALIZAÇÃO E LICENCIAMENTO DE TRENS DE CARGA DA MRS**

Monografia apresentada ao Curso de Pós Graduação em Transporte Ferroviário de Carga do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia Ferroviária.

Orientador: Prof. Luíz Antônio Silveira Lopes - DSc

Rio de Janeiro

2006

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

ALOISIO SILVEIRA CAMPOS JUNIOR

**COMPARAÇÃO ENTRE O SISTEMA RADIO MODEM X TETRA APLICADO
A SINALIZAÇÃO E LICENCIAMENTO DE TRENS DE CARGA DA MRS**

Monografia apresentada ao Curso de Pós Graduação em Transporte Ferroviário de Carga do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia Ferroviária.

Orientador: Prof. Luíz Antônio Silveira Lopes – D.Sc.

Aprovada em 22 de agosto de 2006 pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Luiz Antônio Silveira Lopes

Prof. Manoel Ferreira Mendes

Jorge Eduardo Guimarães Filho

Deomar Soares Vianna

Rio de Janeiro

2006

Agradecimentos

Agradeço a todas as pessoas que me ajudaram em mais um desafio na minha vida.

Agradeço em especial a Paulo Viera do Projeto MRS 2008 pela atenção e colaboração, e também ao meu Professor Orientador Dr. Luiz Antônio Silveira Lopes e aos meus tutores na MRS Jorge Eduardo Guimarães Filho e Deomar Soares Vianna.

Sumário

FIGURAS	06
TABELAS	07
LISTA DE SIGLAS	08
1. INTRODUÇÃO	10
2. ÚTILIZAÇÃO DE RÁDIOS PARA SINALIZAÇÃO, COMUNICAÇÃO E CONTROLE DE TRÁFEGO	12
2.1 SITUAÇÃO ATUAL.....	12
2.2 RÁDIO ANALÓGICO	12
2.3 RADIO DIGITAL.....	13
2.4 RÁDIO MODEM.....	18
2.5 RADIO TRUNKING DIGITAL PADRÃO TETRA	19
2.5.1 SISTEMA TRONCALIZADO OU “TRUNKING”	20
2.5.2 TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS.....	22
2.5.3 APLICAÇÃO DO PADRÃO TETRA À FERROVIA	23
3. TRATAMENTO DO PROBLEMA	25
3.1 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE.....	25
4. COMPARAÇÃO RÁDIO MODEM X TETRA.....	26
4.1 ARQUITETURA DE ALTA DISPONIBILIDADE	27
4.2 INFRA-ESTRUTURA DE PLATAFORMA DE COMUNICAÇÃO	27
4.3 ÁREA DE COBERTURA DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO DE VOZ	28
4.4 INTERFERÊNCIA DE TERCEIROS NA COMUNICAÇÃO DE VOZ	28
4.5 CAPACIDADE DE GERENCIAMENTO	29
4.6 CONTIGÊNCIA DE OPERAÇÃO DE ERB’S	30
4.7 PROTOCOLO ABERTO.....	31
4.8 ROAMING.....	32
4.9 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA	32
4.10 APROVEITAMENTO DE SISTEMAS LEGADOS.....	32
4.11 CAPACIDADE DE EXPANSÃO	33
4.12 PROCESSO DE MIGRAÇÃO DE IMPLANTAÇÃO / AJUSTE DO CBTC.....	33
4.13 FLEXIBILIDADE DE REDISTRIBUIÇÃO DE ZONAS DE CONTROLE DE DESPACHO	34
4.14 SIMULTANIEDADE DE COMUNICAÇÃO DE DADOS DE VOZ.....	34
4.15 TABELA COMPARATIVA.....	34
6. CONCLUSÃO	36
BIBLIOGRAFIA.....	37

Figuras

Figura 2.1 Diagrama em blocos de um sistema de comunicação	13
Figura 2.2 Gráfico de conversão de um sinal analógico para sinal digital.....	14
Figura 2.3 diagrama em bloco de um enlace de rádio digital	15
Figura 2.4 Sinais digitais modulados.....	17
Figura 2.5 Sistema Detector de Descarrilhamento	19
Figura 2.6 tela de computador de bordo.....	24
Figura 4.1 Ilustração comparativa TETRA x Radio Modem	29
Figura 4.2 Ilustração comparativa TETRA x Radio Modem	30
Figura 4.3 Solução contingencial para operação de ERB's no sistema TETRA.....	31

Tabelas

Tabela 2.1 Problemas de rádios convencionais resolvidos pelo sistema trunking	22
Tabela 4.1 Tabela Comparativa TETRA x Radio Modem.....	35

Lista de Siglas

ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações

C/I - Carrier/Interference

CCO - Centro de Controle Operacional

ERB - Estação Rádio Base

ETSI - European Telecommunications Standards Institute

FDMA - Frequency Division Multiple Access

FM - Frequency Modulation

PCM - Pulse Code Modulation

PDH - Plesiochronous Digital Hierarchy

RF - Radio Frequencia

SDH - Synchronous Digital Hierarchy

SME - Serviço Móvel Especializado

STM1- Synchronous Transport Module

TDMA - Time Division Multiple Access

TETRA - Terrestrial Trunked Radio

VHF – Very High Frequency

Resumo

Este trabalho é um estudo comparativo de duas tecnologias de comunicação que podem ser utilizadas em aplicações ferroviárias. No estudo, é levado em consideração as características particulares da empresa MRS Logística SA, que é uma ferrovia de transporte de cargas onde o principal produto transportado é o minério.

As tecnologias de comunicação podem ser utilizadas na Sinalização, Comunicação e Controle de Tráfego nas ferrovias, e para atender a demanda de crescimento de produção e aumentar a produtividade, se faz necessário o investimento em tecnologias que permitam otimizar a operação ferroviária.

Como os investimentos em sistemas de Sinalização e Comunicação e Controle de Tráfego são consideravelmente altos se faz necessário um estudo detalhado das alternativas de mercado para que esta possa atender perfeitamente as necessidades da MRS nos próximos anos e permita que a empresa atinja seus objetivos estratégicos de produção.

Inicialmente, este trabalho faz uma breve explicação do funcionamento do Rádio Analógico e Rádio Digital, para que sirva de base para entendimento do funcionamento das tecnologias de comunicação mais modernas.

Foram escolhidas duas tecnologias de comunicação existentes no mercado e suas soluções para ferrovia, são elas o Radio Modem e TETRA, cada uma delas possuem vantagens e desvantagens para aplicação no Sistema de Sinalização, Comunicação e Controle de Tráfego levando em consideração as características da MRS.

Após os comentários de cada uma das tecnologias, é feito então a comparação entre elas, onde pode-se concluir qual tecnologia seria mais indicada para ser aplicada na MRS Logística considerando suas peculiaridades.

1. INTRODUÇÃO

Para uma ferrovia, é essencial possuir uma estrutura de Sinalização, Comunicação e Controle de Tráfego e para atender a demanda de crescimento da MRS, se faz necessário o investimento em novas tecnologias que permitam aumentar a eficiência operacional de transporte. Essas tecnologias permitirão novos patamares de produção e de produtividade, dando suporte a demanda de produção futura da MRS.

Esta monografia tem o objetivo de estudar e avaliar as características técnicas evidenciando as vantagens e desvantagens de cada uma das tecnologias disponíveis no mercado de forma a identificar a que melhor atende as necessidades e peculiaridades da MRS.

Existe a necessidade de um estudo detalhado de soluções disponíveis no mercado, pois implica em altos investimentos e a nova solução deve permitir que a MRS realize seu plano estratégico de produção para os próximos anos, pois a tecnologia existente hoje na MRS não permitirá o atendimento dos objetivos futuros.

A Diretoria de Desenvolvimento da MRS pensando nas necessidades atuais e futuras criou o Projeto MRS 2008, para identificar a tecnologia que melhor atende a MRS. Dentro desse projeto foram contratadas empresas de consultorias em telecomunicações para ajudar neste trabalho.

Identificou-se então possíveis tecnologias que atenderiam as necessidades da MRS, dentre elas o Rádio Trunking Digital padrão TETRA e Rádio Modem padrão DataRadio. A MRS optará por uma dessas tecnologias e esta monografia se propõe a fazer uma análise das duas.

No Capítulo 2, este trabalho inicialmente faz uma breve explicação sobre as tecnologias de rádio analógico e rádio digital que servirá como base de entendimento para as principais tecnologias: Radio Modem e Tetra. O capítulo 3 faz uma breve explicação de que forma foi feita a comparação entre as duas soluções, e no Capítulo 4 é feito uma comparação entre as duas tecnologias mostrando as vantagens e desvantagens de cada uma. Por fim, o Capítulo 5 demonstra a conclusão dos resultados dos estudos e análises.

2. ÚTILIZAÇÃO DE RÁDIOS PARA SINALIZAÇÃO, COMUNICAÇÃO E CONTROLE DE TRÁFEGO

2.1 SITUAÇÃO ATUAL

A MRS hoje utiliza rádios analógicos e digitais, e são utilizados somente para fazer a transmissão de voz. Hoje a evolução tecnológica permite que rádios digitais possam ser utilizados para fazer, além da comunicação, a sinalização e o controle de tráfego.

Para se fazer um estudo das melhores opções existentes no mercado, será necessário saber um pouco do funcionamento do rádio analógico e digital.

2.2 RÁDIO ANALÓGICO

Um sistema de telecomunicação tem o propósito de transmitir sinais portadores de informação de uma fonte para um destinatário, que se encontra distante da fonte. A MRS hoje possui um sistema de telecomunicações baseado em rádio analógico para fazer a comunicação entre o CCO (Centro de Controle de Operações) e os maquinistas e também entre maquinistas e manobreadores. Este sistema analógico possui problemas em alguns trechos da via onde não se consegue estabelecer a comunicação por algum obstáculo, essas áreas são chamadas áreas de sombras, como por exemplo dentro de túneis.

Na figura 2.1 pode ser visto os elementos básicos de um sistema de comunicação:

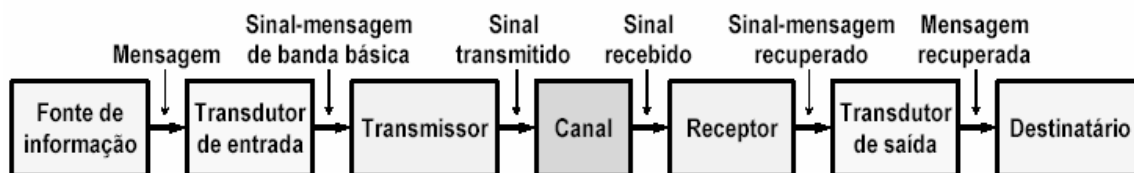


Figura 2.1 Diagrama em blocos de um sistema de comunicação
Fonte: Apostila Teoria de Comunicações, Prof. Lúcio Martins da Silva (2004)

A Fonte de informação é de onde se origina a mensagem, por exemplo, a voz humana. Esta fonte deve ser transformada em sinal elétrico chamado de “sinal-mensagem” no Transdutor de entrada. O sinal-mensagem é modulado e transmitido através do canal pelo transmissor.

O Canal é o meio onde é transmitido a informação, por exemplo, um par de fios metálicos, cabo coaxial, enlace de rádio, etc. Durante a transmissão, o sinal sofre atenuação e distorção e ainda contaminação por ruídos e interferências. O sinal recebido do canal é processado no receptor para recuperar a informação original.

O Transdutor de saída converte novamente o sinal-mensagem em sinal de voz e entrega ao destinatário.

2.3 RADIO DIGITAL

Para entender as tecnologias de rádio digital Radio Modem e Tetra se faz necessário um breve estudo sobre os fundamentos do rádio digital.

Em um enlace de rádio digital a fonte de informação (voz, dados ou imagens) pode ser digital ou analógica digitalizada, ou seja, a informação deve estar em formato digital e é transportada em canais padronizados.

Na Figura 2.2 pode ser visto como um sinal analógico, por exemplo a voz, é convertido em um sinal digital:

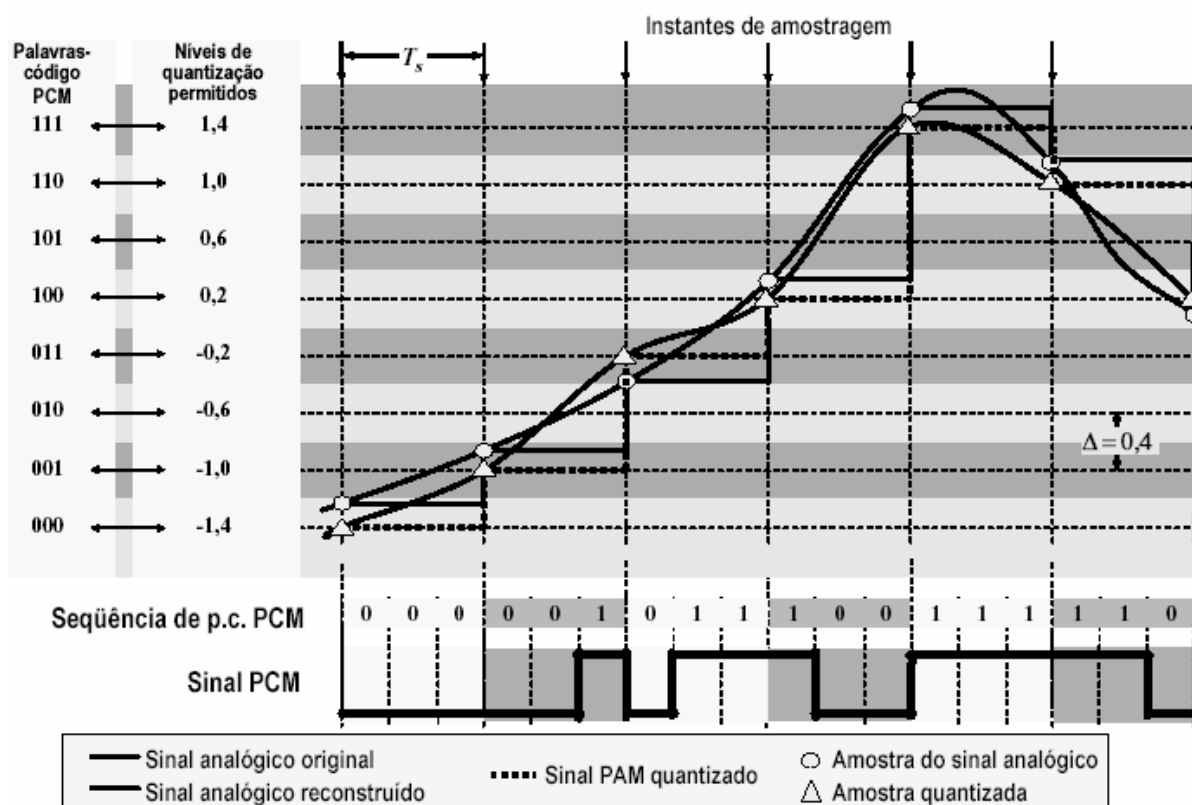


Figura 2.2 Gráfico de conversão de um sinal analógico para sinal digital

Fonte: Apostila Teoria de Comunicações, Prof. Lúcio Martins da Silva (2004)

O sinal analógico passa por um processo de amostragem, e a cada instante em que o sinal é amostrado verifica-se o nível de quantização do sinal e o seu código binário correspondente, chamado de palavras-código PCM, desta forma para cada instante amostrado é gerado um código binário digital formando assim o sinal digital.

A Figura 2.3 apresenta o diagrama em bloco de um enlace de rádio digital:

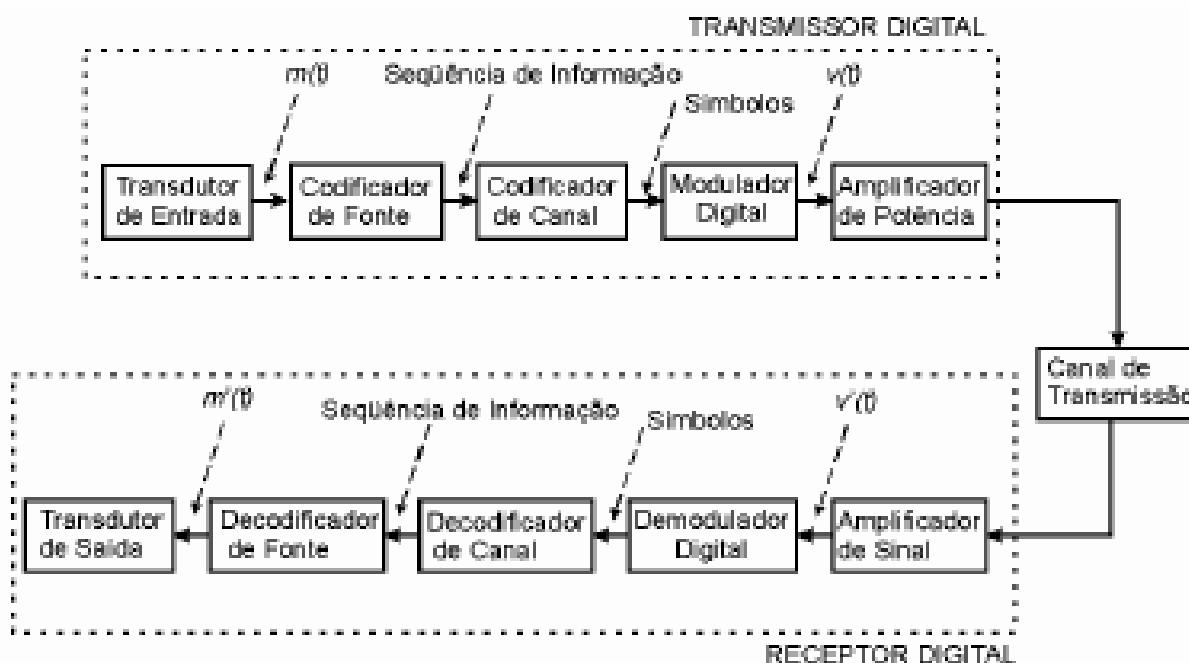


Figura 2.3 diagrama em bloco de um enlace de rádio digital

Fonte: Apostila de Modulação, Maria Cristina Fellipetto de Castro (2006)

O Transdutor de Entrada transforma a fonte de informação em sinal elétrico, depois o sinal passa por um Codificador de Fonte que produz uma seqüência de símbolos, esta seqüencia de símbolos (normalmente binária) representa o sinal de uma maneira eficaz e com uma aproximação definida por um dado critério. O Codificador de Fonte procura reduzir ao máximo a informação redundante no sinal, de forma que o menor numero de bits possível seja utilizado para sua representação sem perder informação significativa. Em outras palavras, o Codificador de Fonte efetua uma compressão de dados. Se a fonte do sinal é digital, a representação pode ser perfeita, se a fonte é analógica, deve-se proceder a um processo de discretização ou conversão analógica digital como mostrado acima na Figura 2.2.

Depois o sinal é codificado no Codificador de Canal para melhorar a confiabilidade com que a informação é transmitida, permitindo que erros na transmissão sejam detectados e corrigidos. O Codificador de Canal é responsável em um sistema digital por manter a taxa de erro dentro de um limite máximo aceitável pelo usuário.

O sinal de saída do Codificador de Canal precisa ser modulado para gerar um sinal analógico que poderá ser transmitido na frequência de operação do rádio, porque os meios de transmissão são de natureza inerentemente contínua no tempo e o sinal e o sinal proveniente do Codificador de Canal é um sinal discreto no tempo. É necessário representar os blocos de bits provenientes da etapa de codificação sob a forma de sinal contido no tempo, para que se efetue a transmissão. Este processo é feito no modulador.

Existem muitos tipos de modulação e entre eles podemos citar: Amplitude Shift Keying (ASK), Frequency Shift Keying (FSK), Phase Shift Keying (PSK), Differential Shift Keying (DPSK) e Quadrature Amplitude Modulation (QAM). A Figura 2.4 apresenta exemplo de sinais digitais modulados.

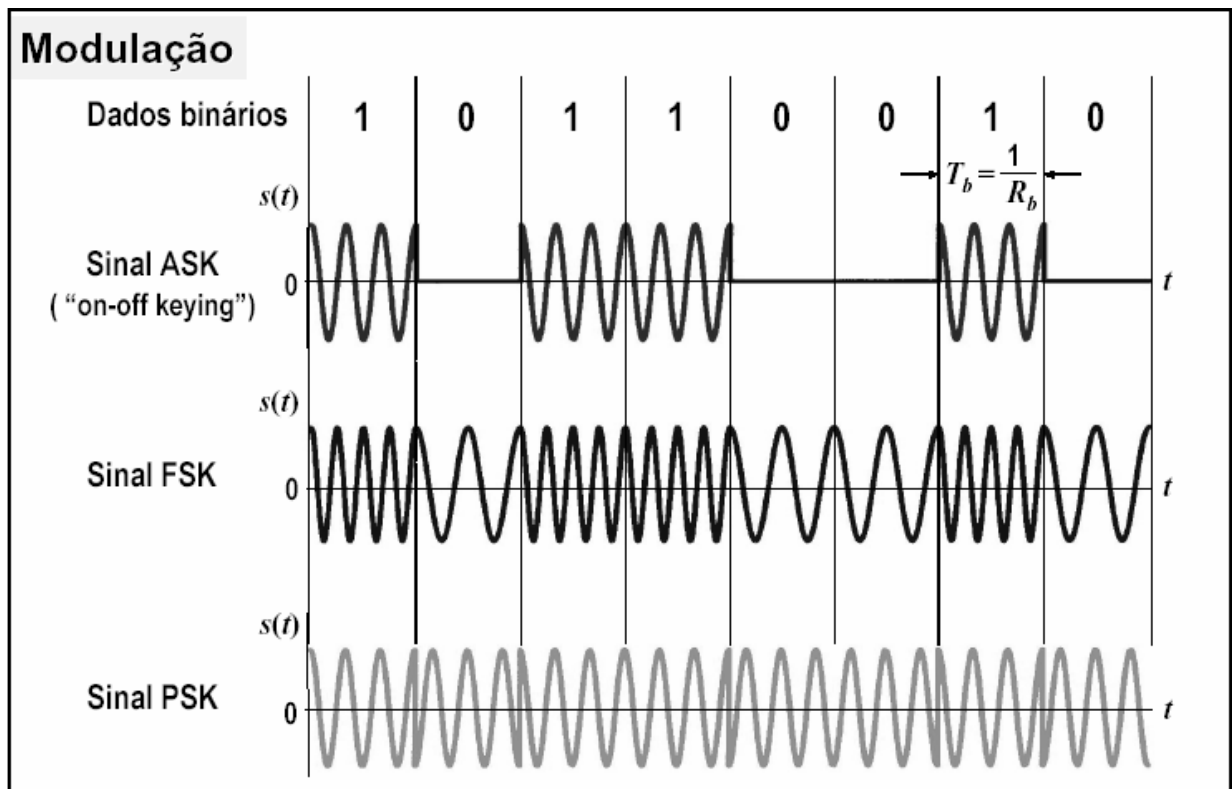


Figura 2.4 Sinais digitais modulados

Fonte: Apostila Teoria de Comunicações, Prof. Lúcio Martins da Silva (2004)

Após a modulação o sinal é amplificado e está pronto para ser transmitido pelo Transmissor (Tx), e será recebido na outra ponta onde é feito o processo inverso e o sinal é recuperado.

O sinal, durante a propagação no espaço, como no rádio analógico também está sujeito à atenuação, ruído e interferências.

A comunicação digital possui as seguintes vantagens:

- Nos sistemas digitais pode-se usar repetidores regenerativos;
- É mais fácil e mais eficiente multiplexar sinais digitais do que multiplexar sinais analógicos;

- Sinais digitais podem ser codificados para se ter taxa de erro extremamente baixas e alta fidelidade no extremo receptor, ou criptografados para se ter privacidade na comunicação;
- Os circuitos (hardware), digitais são, em geral, mais baratos e seu custo apresenta uma tendência de queda bem mais acentuada do que a dos circuitos analógicos;
- Sistemas digitais são mais flexíveis, ou seja, facilitam expansões e mudanças futuras.

2.4 RÁDIO MODEM

O Radio Modem é um rádio digital que possibilita somente a transmissão de dados, e pode ser utilizado para inúmeras aplicações.

O Radio Modem pode ser usado para fazer a transmissão de informações entre o campo e o CCO, possibilitando a implementação de várias soluções para otimização da ferrovia. Por volta da década de 80 iniciou-se a aplicação do rádio modem no segmento ferroviário.

Um exemplo da aplicação do Radio Modem na ferrovia é a implementação de detectores de descarrilamento. Hoje na MRS, o detector de descarrilamento ao detectar um descarrilamento, transmite um sinal de voz no canal de rádio do maquinista informando o ocorrido. Com a implementação do Radio Modem, ao detectar um descarrilamento, poderá ser enviada uma informação digital simultânea ao CCO e a Locomotiva.

A figura 2.5 mostra como pode ser implementado um detector de descarrilamento utilizando o Rádio modem. O Detector de descarrilamento funciona da seguinte forma: É posicionado uma barra entre os dormentes (representado em amarelo na figura 2.5),

e caso ocorra um descarrilamento, o vagão descarrilado irá romper a barra, uma vez rompida, é acionado um alarme para o CCO e o maquinista, a transmissão dessa informação pode ser feita através do Radio Modem. Na figura abaixo, representa a transmissão da informação do ponto de deteção para uma "house" onde está situado os equipamentos de rede e dali o sinal é retransmitido para o CCO.

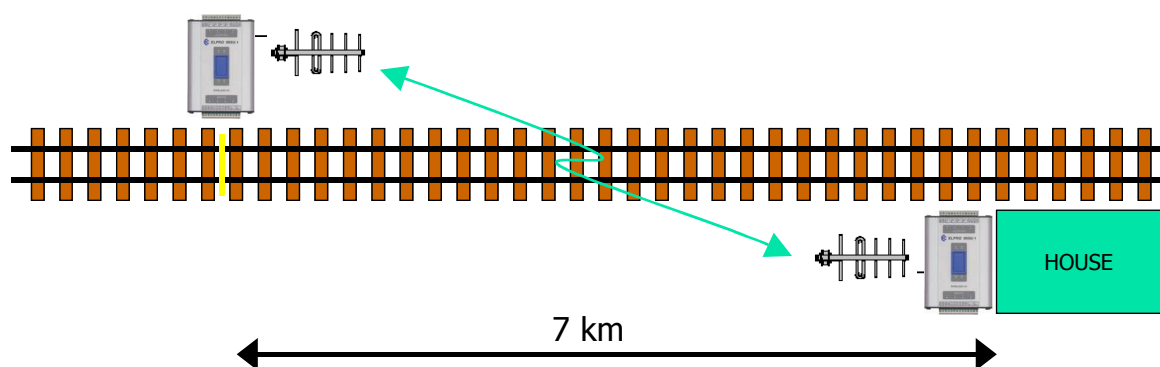


Figura 2.5 Sistema Detector de Descarrilamento

Fonte: Tec Wise (2006)

2.5 RADIO TRUNKING DIGITAL PADRÃO TETRA

TETRA (Terrestrial Trunked Radio) é um padrão de rádio móvel digital desenvolvido pela ETSI (European Telecommunications Standards Institute) em 1994 com o propósito de suprir as necessidades do rádio móvel profissional.

Terrestrial Trunked Radio significa que é um sistema troncalizado ou "trunking" que ficou conhecido como o Serviço Móvel Especializado (SME), por ser o termo adotado em seu país de origem os EUA.

O Padrão TETRA foi desenvolvido de forma aberta permitindo que diferentes fabricantes independentes possam fabricar produtos compatíveis, por exemplo terminais de rádio de um fabricante pode se comunicar em uma estrutura desenvolvida por outro fabricante. Esta característica é uma distinta vantagem do padrão TETRA, pois aumenta a competição entre os fabricantes, permite uma segunda escolha de segurança e permite a melhor escolha de produtos para atender a necessidade específica de cada empresa.

O padrão TETRA é um sistema de última geração, digital e que utiliza tecnologia TDMA, orientado a sistemas de voz e dados móveis. Tem um aproveitamento espectral ótimo permitindo 4 canais de voz ou dados por canal físico de RF, a velocidade de dados é de 36 kbit/seg e a portadora ocupa 25 kHz. Devido ao fato de quatro canais lógicos poderem coexistir em uma largura de banda de 25 kHz, o TETRA propicia uma eficiência de uso de espectro duas vezes maior do que um sistema analógico ou FM Digital a 12,5 kHz. Cada canal pode suportar tráfego de dados de até 7,2 kbit/s. Múltiplos canais podem ser combinados para propiciar largura de banda sob demanda, oferecendo um máximo de velocidade de transferência de 28,8 kbit/seg para um usuário ou um grupo deles.

Esta característica permite que o padrão TETRA seja perfeitamente aplicável à ferrovia para atender a necessidade de comunicação, sinalização e controle de tráfego.

2.5.1 SISTEMA TRONCALIZADO OU “TRUNKING”

A técnica Trunking tem sido usada por muitos anos na telefonia, o primeiro sistema de rádio-comunicação móvel troncalizado foi desenvolvido no começo dos anos 70 e o principal benefício do sistema trunking é a eficiência na utilização do espectro de frequência. No Brasil, o Trunking ou Serviço Móvel Especializado foi regulamentado

para ser um serviço a ser oferecido somente à empresas e para aplicações corporativas.

O sistema de rádio troncalizado é usado para maximizar a capacidade disponível do sistema de rádio estabelecendo identidades lógicas para grupos de usuários para compartilhar as informações entre eles. No sistema de rádio não-troncalizado é utilizado uma frequência dedicada para a comunicação entre dois rádios.

De forma simplificada, o sistema troncalizado funciona da seguinte forma, os usuários enviam pacotes para um computador operando em uma frequência dedicada (chamado de Controle de Canal), para requisitar a comunicação com um grupo de usuários específico. O Controlador de Canal envia um sinal digital para todos os rádios para monitorar o grupo de usuários pretendido, instruindo os rádios a automaticamente sintonizar a frequência indicada pelo sistema do monitor de transmissão. Após o término da conversa, os usuários voltam a monitorar o controle de canal para novas transmissões.

Este Arranjo permite que múltiplos grupos de usuários compartilhem um pequeno número de canais de frequência sem “escutar” a conversa uns dos outros.

Podemos fazer uma analogia com o sistema de telefonia que utiliza uma central telefônica para fazer o roteamento das ligações por identificação dos usuários.

Com o surgimento do sistema troncalizado, os usuários de rádio móveis passaram a utilizar este sistema o que ajudou a reduzir a ocupação do espectro de frequência. Contudo, melhor eficiência na utilização do espectro de frequência não era suficiente para atender as necessidades das empresas, era necessário também resolver alguns problemas operacionais associados aos rádios convencionais. O trunking possibilitou o controle de canal resolvendo alguns problemas antes encontrados em rádios convencionais, como pode ser visto na tabela 2.1 a seguir:

Problemas	Solução Trunking
Contenção de chamadas	Todos pedidos de ligações são processadas pelo controle de canal para conexão imediata ou serem colocados em fila de acordo com a prioridade quando o sistema está ocupado.
Mudança manual de canais	Handover de Célula automático dispensa o necessidade de mudança manual de canal.
Utilização ineficiente de canal	A nomeação automática e dinâmica de um pequeno número de canais de comunicação compartilhados entre um número relativamente grande de usuários assegura um grau igual do serviço de todos os usuários de rádio no sistema.
Falta de privacidade	A alocação dinâmica e aleatória de canais torna mais difícil para um eventual bisbilhoteiro monitorar conversações.

Tabela 2.1 Problemas de rádios convencionais resolvidos pelo sistema trunking

2.5.2 TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS

Foi adotada no TETRA uma tecnologia TDMA de quatro slots de tempo, pois isto oferece a melhor solução para equilibrar o preço do equipamento com serviços de suporte e facilidades necessárias pelas empresas para prover uma rede com uma cobertura local única ou múltiplas áreas de cobertura de RF (Radio Freqüência).

A eficiência na utilização do espectro de freqüência é uma combinação de três fatores principais, a ocupação da largura de faixa por canal de comunicação, a freqüência de re-uso determinada pela taxa de proteção Carrier/Interference (C/I) (portadora por interferência em dB's, e a tecnologia trunking usada. A tecnologia TDMA utilizada no TETRA propicia quatro canais de comunicações independentes dentro de uma largura de faixa de RF de 25 kHz tornado duas vezes mais eficiente em ocupação do que o tradicional canal FDMA (Frequency Divison Multiple Access) de 12,5 kHz.

Por causa do uso da tecnologia TDMA, o custo e o tamanho dos equipamentos puderam ser reduzidos significativamente comparado com a tradicional solução de trunking FDMA. Outra vantagem do TDMA é a capacidade de englobar novos serviços e facilidades a um custo mínimo.

2.5.3 APLICAÇÃO DO PADRÃO TETRA À FERROVIA

O sistema de comunicação para a ferrovia baseado em Tetra permitirá a implementação de várias facilidades inerentes à operação ferroviária que trará os seguintes benefícios:

- Redução de cabos;
- Permite trocar maior quantidade de informações diretamente com a locomotiva ;
- Maior flexibilidade para evolução;
- Integração de vários sistemas;
- Menos elementos na via para o sistema de sinalização;
- Menor custo de implantação para os sistemas de sinalização.

Poderão ser implantados equipamentos de bordo com funcionalidades vitais e de gerenciamento da ferrovia. Estes equipamentos podem fazer a supervisão das autorizações de movimento, fornecer indicações para o maquinista, registro de eventos, localização da locomotiva e automação de funcionalidades do CCO.

Com isso pode-se reduzir equipamentos na via (sinais, cabos, etc), pode-se obter a localização precisa da composição, aumenta-se a segurança da operação e um aumento da eficiência operacional.

Pode-se implementar a telemetria para aquisição de todos os dados existentes na locomotiva e envio para o centro de controle facilitando o gerenciamento e manutenção. Na telemetria pode ser feito um diagnóstico completo da locomotiva (consumo de combustível, temperatura, registro de eventos, etc.), saber a velocidade de tráfego e realizar algum telecomando para os computadores embarcados. Isto permite a o apoio à manutenção, predição de falhas, controle e otimização de frota e rastreamento de cargas.

Poderá ser feito uma melhor integração do maquinista com o CCO, fornecendo informações de rota, posicionamento e apoio a condução. Também poderá ser informado ao maquinista a situação da via. A seguir, um exemplo de uma tela de computador de bordo do fabricante Alstom:



Figura 2.6 tela de computador de bordo
 Fonte: Apresentação Alstom, Eraldo Jauck

3. TRATAMENTO DO PROBLEMA

3.1 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE

O Projeto MRS 2008 foi criado pela Diretoria de Desenvolvimento da MRS para, dentre outras muitas funções, analisar e identificar a tecnologias de Sinalização, Comunicação e Controle de Tráfego que melhor atende a MRS no seu direcionamento estratégico. Foram contratadas empresas de consultorias em telecomunicações para ajudar neste trabalho.

A equipe do Projeto MRS 2008 definiu alguns requisitos em que a nova tecnologia deve atender e a partir daí foi feito estudo do desempenho das duas soluções nesses requisitos e uma análise das propostas das empresas fornecedoras dessas soluções.

Este trabalho, baseado nos estudos e dos pontos críticos definidos pelo Projeto MRS 2008 faz uma comparação das duas tecnologias.

4. COMPARAÇÃO RÁDIO MODEM X TETRA

Para que possa fazer uma comparação entre as duas tecnologias para aplicação na ferrovia, deve-se adotar uma solução Rádio Modem + VHF (Voz), já que o Rádio Modem não transmite voz, e o TETRA faz a transmissão de voz e dados. Para efeitos práticos efetivos, será feita uma análise de duas soluções completas em um estudo de caso de uma ferrovia. No caso da MRS, Foram consideradas duas propostas de solução:

- Solução 1: Manter um sistema VHF, com 24 ERB's simples ao longo da ferrovia para a comunicação de voz + instalação de um sistema Rádio Modem, com aproximadamente 80 ERB's duais ao longo da ferrovia, para a comunicação de dados. Cada trem seria equipado com um rádio VHF para voz e um Rádio Modem de dados interligado a um computador de bordo nas locomotivas.
- Solução 2: Instalação de um novo sistema TETRA, com aproximadamente 80 ERB's duais ao longo da ferrovia para a comunicação de dados e voz, descontinuando o sistema VHF existente ao final da implantação. Cada trem seria equipado com dois rádios TETRA que poderiam cumprir a função de voz ou comunicação de dados interligando-se a um computador de bordo nas locomotivas.

A seguir, será feito uma análise das duas tecnologias em itens relevantes para o controle da operação ferroviária baseadas nas duas soluções.

4.1 ARQUITETURA DE ALTA DISPONIBILIDADE

A solução TETRA apresenta vantagem na disponibilidade por apresentar dualidade em todos os componentes críticos. Por exemplo, a bordo da locomotiva serão instalados dois rádios TETRA que podem transmitir tanto voz quanto dados, podendo configurá-los da maneira que se achar mais adequado, um rádio transmitindo voz e outro dados, ou os dois transmitindo voz e dados. No caso de uma falha em um dos rádios o outro poderá assumir a transmissão de voz e dados. Esta característica eleva consideravelmente a disponibilidade do sistema.

No caso da solução Rádio Modem, utilizando o exemplo anterior, serão instalados dois rádios na locomotiva, um rádio de voz analógico comum e um Radio Modem somente para dados e em caso de falha de algum dos rádios, perderá a comunicação de voz ou de dados. Esta característica diminui a disponibilidade do sistema.

4.2 INFRA-ESTRUTURA DE PLATAFORMA DE COMUNICAÇÃO

A infra-estrutura TETRA leva vantagem em relação ao Radio modem por possibilitar a implementação de uma única plataforma para todo projeto que atenderá os requisitos para o controle da operação ferroviária de transmissão de voz e dados.

No caso do Radio Modem, para atender a condição de transmissão de voz e dados será necessário a implementação de uma estrutura voltada para voz e outra para dados.

4.3 ÁREA DE COBERTURA DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO DE VOZ

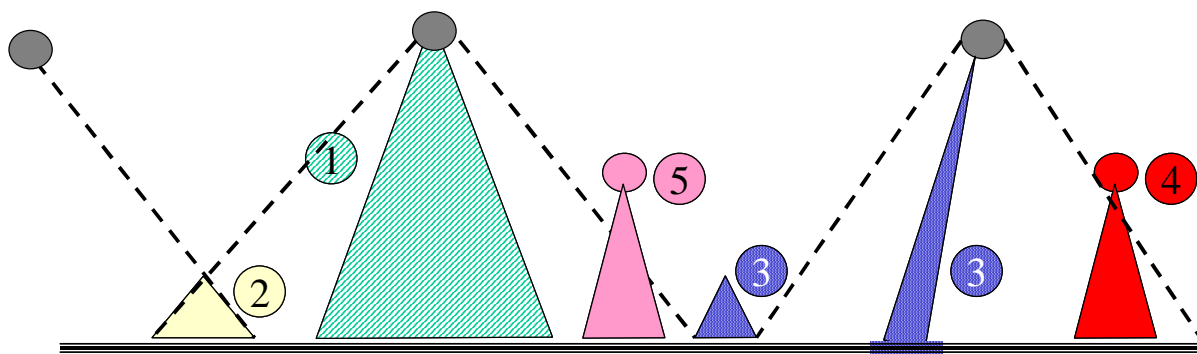
A solução TETRA leva vantagem em relação ao Radio Modem (solução Radio Modem + VHF), pois a quantidade de ERB`s instaladas aumenta significativamente, gerando uma cobertura de pelo menos 95% da malha ferroviária.

No caso do Rádio Modem, manterá a estrutura atual de comunicação de voz em VHF em rádios analógicos, e mesmo com o acerto do plano de freqüências e da adição de ERB`s, não deverá ser melhor que a cobertura dos sistemas TETRA.

4.4 INTERFERÊNCIA DE TERCEIROS NA COMUNICAÇÃO DE VOZ

A tecnologia TETRA leva vantagem em relação ao Radio Modem por possibilitar a garantia de operação em caráter primário permitindo a requisição à ANATEL a retirada de empresas que causem interferências. Em casos de interferências ilegais, torna-se praticamente impossível a interferência por ser uma tecnologia de difícil acesso e incomum.

No caso do Rádio Modem, como será utilizado o sistema atual de voz em VHF, a interferência de terceiros e entre as próprias ERB`s dependerá do plano de freqüência elaborado e as freqüências específicas liberadas pela ANATEL. Por ser uma tecnologia de fácil acesso e muito difundida é de difícil controle sobre interferências ilegais de terceiros.



#	Descrição	Solução	TETRA	R. MOD
1	Cobertura de Portátil	Planejar para atender Portátil	NÃO	NÃO
2	Interferência entre ERBs	Novo Plano de Frequência	SIM	SIM
3	Zonas escuras	Aumento de ERBs	MUITO	UM POU
4	Transmissor Pirata	Frequência/Tecnologia menos popular	SIM	NÃO
5	Outro transmissor legal	Licença caráter primário	SIM	NÃO

Figura 4.1 Ilustração comparativa TETRA x Radio Modem

Fonte: Projeto MRS 2008

4.5 CAPACIDADE DE GERENCIAMENTO

A solução TETRA também leva vantagem por permitir configuração remota, reconfiguração dinâmica, endereçamento IP nativo, etc. tanto pra voz quanto para dados.

No caso da solução Rádio Modem, apenas o Gerenciamento do sistema de dados é equivalente ao TETRA e haverá alguma melhoria no gerenciamento de voz com a implantação de alguns equipamentos novos, mas ainda inferior à solução.

4.6 CONTIGÊNCIA DE OPERAÇÃO DE ERB'S

A Solução Radio Modem + VHF apresenta vantagem em relação à solução TETRA porque dois sistemas diferentes permitem uma melhor condição contingencial. Em caso de queda de uma ERB o outro sistema pode assumir estabelecendo a comunicação só por voz ou só por dados.

Neste item a solução TETRA está em desvantagem, em relação à solução Radio Modem pois será implementado só um sistema TETRA padronizado transmitindo voz e dados, e em caso de queda de uma ERB, tanto voz quanto dados ficam “sem comunicação” na área de cobertura daquela ERB. Ex:

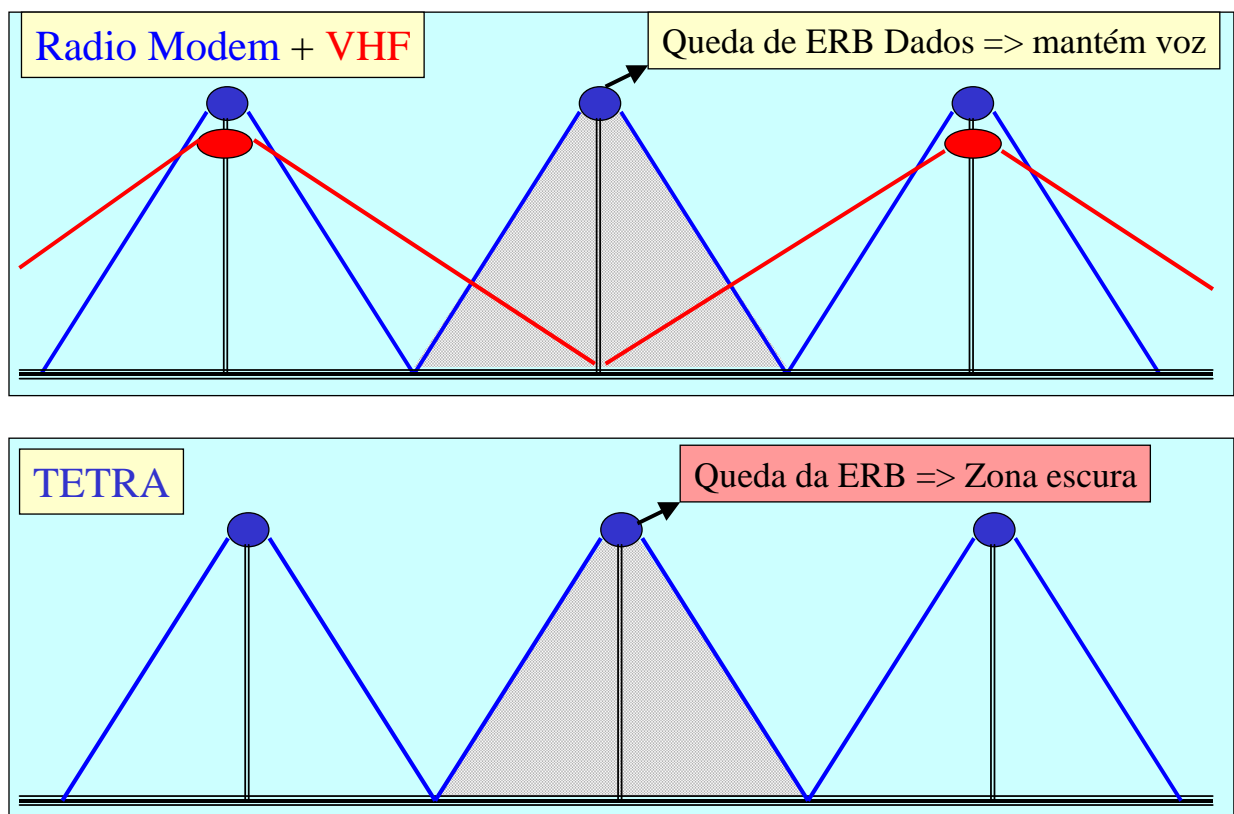
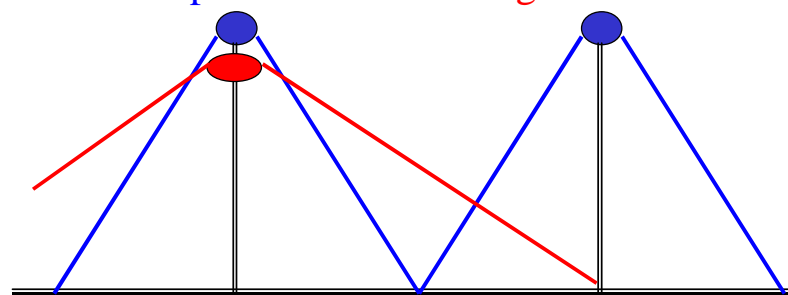


Figura 4.2 Ilustração comparativa TETRA x Radio Modem

Fonte: Projeto MRS 2008

A MRS está estudando a possibilidade de se manter o sistema de VHF atual como contingência por um período de transição das tecnologias, até que a nova tecnologia esteja funcionando sem problemas e com boa confiabilidade e para que possam ser estudadas soluções para o problema de contingência de operação de ERB's. Ex:

Tetra Completo + VHF contingencial



Observações:

- VHF funciona como contingencial
- Necessidade de manter dois sistemas de voz embarcados e no CCO

Figura 4.3 Solução contingencial para operação de ERB's no sistema TETRA

Fonte: Projeto MRS 2008

4.7 PROTOCOLO ABERTO

A solução TETRA leva vantagem em relação à solução Radio Modem por utilizar um protocolo de comunicação aberto em parte do sistema (nos terminais), não ficando amarrado a um único fornecedor de equipamento, com alguns inconvenientes quando utilizando equipamentos de fabricantes diferentes que pode haver a perda de algumas funcionalidades específicas de cada fabricante.

No caso da solução Radio Modem o protocolo de comunicação é fechado.

4.8 ROAMING

A solução TETRA leva vantagem em relação à solução Radio Modem por implementar o roaming automático tanto para dados quanto para voz sem qualquer percepção para os operadores.

Na solução Radio Modem implementa a o roaming automático de dados, mas para voz o maquinista ainda terá q mudar de freqüência manualmente como é feito hoje.

4.9 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

A solução TETRA tem mais flexibilidade e mais funções de configuração, enquanto que a solução Rádio Modem possui configurabilidade mais restrita, especialmente na configuração de voz.

4.10 APROVEITAMENTO DE SISTEMAS LEGADOS

A Solução Rádio Modem leva vantagem em relação à solução TETRA por aproveitar melhor os investimentos já feitos pela MRS no sistema VHF existente, já que toda comunicação de voz será feita pelo sistema VHF atual implementando apenas algumas melhorias de equipamentos.

Na solução TETRA, todo o sistema de comunicação atual será descontinuado.

4.11 CAPACIDADE DE EXPANSÃO

A Solução TETRA leva vantagem em relação à solução Rádio Modem por poder expandir por portadoras, caso seja necessário trafegar mais dados ou voz do que o inicialmente planejado, seja por implantação de um novo sistema ou por aumento de trens na linha, pode-se simplesmente adicionar cartões e definir novas frequências para as portadoras, usando toda infra-estrutura das ERB's TETRA instaladas.

Enquanto que a solução Rádio Modem + VHF possui um sistema mais limitado de uma forma geral e vai implicar em instalar mais equipamentos do que apenas cartões nas ERB's.

4.12 PROCESSO DE MIGRAÇÃO DE IMPLANTAÇÃO / AJUSTE DO CBTC

A Solução Rádio Modem leva vantagem em relação à solução TETRA pois o sistema de dados é dedicado e melhor concebido para o fim proposto. O sistema de voz será apenas ampliado, facilitando a implantação e será mais "transparente" ao usuário final (mantém os mesmos rádios de voz atuais).

Na solução TETRA será necessário a implantação completa de todo o sistema, gerando mais necessidade de capacitação e um processo mais complexo de implantação.

4.13 FLEXIBILIDADE DE REDISTRIBUIÇÃO DE ZONAS DE CONTROLE DE DESPACHO

A Solução TETRA leva vantagem em relação à solução Rádio Modem pois a quantidade de ERBs aumenta significativamente, possibilitando uma maior flexibilidade na distribuição de zonas de controle através de configuração de software.

Na solução Rádio Modem não ocorrerá melhoria neste sentido pois o sistema de voz continuará sendo o VHF analógico atual, que não permite a redistribuição de zonas por configuração de software.

4.14 SIMULTANEIDADE DE COMUNICAÇÃO DE DADOS DE VOZ

A Solução Rádio Modem leva vantagem pois como são dois sistemas distintos, um dedicado para voz e outro para dados, é garantido que os canais são exclusivos e que não haverá conflito na tentativa de transmissão.

Na solução TETRA, em um só sistema se trafega dados e voz, necessitando compartilhamento de recursos, o que pode gerar situações de conflito. Este problema deverá ser resolvido com um ajuste fino de configuração ideal para as características da MRS.

4.15 TABELA COMPARATIVA

A seguir, pode ser visto uma tabela comparativa das duas soluções onde foram atribuído peso aos itens mais relevantes:

Característica	TETRA		Rádio Modem		Peso
Arquitetura de alta disponibilidade	10	MELHOR. Dualidade do sistema é completa em todos componentes críticos.	7	PIOR - Dualidade do sistema não é completa em alguns componentes (ex. bordo)	10
Infra-estrutura de plataforma de comunicação	10	MELHOR - Uma única plataforma atende a todo o projeto.	5	PIOR - São necessárias duas plataformas para atendimento aos requisitos do projeto (transmissão de voz e dados).	8
Área de cobertura do sistema de comunicação de voz	10	MELHOR - A quantidade de ERBs aumenta significativamente, gerando uma cobertura de pelo menos 95%	8	PIOR - Mesmo com o acerto do plano de frequências e da adição de ERBs, não deverá ser melhor que a cobertura dos sistemas TETRA	8
Interferência de terceiros na Comunicação de Voz	10	MELHOR - garantia de operação em caráter primário permite requisitar à ANATEL a retirada de empresas que causem interferência.	8	PIOR - Depende do plano de frequência (adequar para evitar interferências entre ERBs e utilizando frequências específicas liberadas pela ANATEL)	8
Capacidade de Gerenciamento	10	MELHOR - Permite configuração remota, reconfiguração dinâmica, endereçamento IP nativo	7	PIOR - Apenas o Gerenciamento do sistema de dados é equivalente ao TETRA. Haverá alguma melhoria no gerenciamento de voz	8
Contingência de Operação de ERBs	5	PIOR - Um só sistema transmite voz e dados. Em caso de queda de uma ERB, tanto voz quanto dados ficam "sem comunicação" naquela área de	10	MELHOR - Dois sistemas diferentes permitem uma melhor condição contingencial. Em caso de queda de uma ERB de um dos sistemas, o outro	6
Protocolo Aberto	6	MELHOR. É aberto em parte do sistema (terminais)	0	PIOR - É fechado	6
Roaming (mudança automática de frequência)	10	MELHOR. implementa o roaming automático tanto para dados quanto para voz.	6	PIOR - Implementa o roaming automático de dados e talvez possa resolver o roaming automático de voz, dependendo do	6
Configuração do sistema	10	MELHOR - tem mais flexibilidade e mais funções de configuração	6	PIOR - configurabilidade mais restrita, especialmente na comunicação de voz	6
Aproveitamento de sistemas legados	5	PIOR - Todo o sistema de comunicações atual é descontinuado.	10	MELHOR - Aproveita melhor os investimentos já feitos pela MRS no sistema VHF existente.	4
Capacidade de expansão	10	MELHOR - pode expandir por portadoras	8	PIOR - sistema mais limitado de uma forma geral	4
Processo de migração e Risco de implantação / ajuste do CBTC	6	PIOR - será necessário a implantação completa de todo o sistema, gerando mais necessidade de capacitação e um processo mais complexo de	10	MELHOR - o sistema de dados é dedicado e melhor concebido para o fim proposto. O sistema de voz será apenas ampliado, facilitando a	4
Flexibilidade de redistribuição de zonas de Controle de Despacho	10	MELHOR - a quantidade de ERBs aumenta significativamente, possibilitando uma maior flexibilidade na distribuição de zonas de controle.	6	PIOR - Aqui a melhora deve-se somente ao aumento do quantitativo de ERB's	4
Simultaneidade de comunicação de Dados e Voz	5	PIOR - num só sistema se trafega dados e voz, necessitando compartilhamento de recursos, o que pode gerar situações de conflito	10	MELHOR - como são dois sistemas, é garantido que os canais são exclusivos e que não haverá conflito	2
TOTAL	88%		69%		

Tabela 4.1 Tabela Comparativa TETRA x Radio Modem

Fonte: Projeto MRS 2008

6. CONCLUSÃO

Para cada problema existe uma solução que melhor atende e isto depende de diversos fatores.

Depois da realização dos estudos e análises pode-se concluir que as duas soluções têm suas vantagens e desvantagens, e que podem ser perfeitamente utilizadas para aplicações ferroviárias, mas para uma ferrovia com as características da MRS, a solução utilizando a tecnologia TETRA se mostrou mais adequada do que a solução que utiliza a tecnologia Rádio Modem, pois atende melhor a necessidade de comunicação e funcionalidades requeridas para atender o aumento de demanda de produção a que se pretende alcançar no plano estratégico da empresa.

Mas não pode-se dizer que uma tecnologia é melhor ou pior do que a outra, pois existem ferrovias com características diferentes em que a solução Radio Modem pode ser mais adequada para atender suas necessidades.

Bibliografia

- [1] A. B. Carlson, *Communication Systems*, McGraw-Hill, 1965
- [2] _____Alstom. Disponível em: <www.alstom.com.br>
- [3] _____Architecture - The Key to the Success of TETRA. Disponível em: <<http://www.tetramou.com/resources/files/archiTETRA.rtf>> (12/05)
- [4] _____Enciclopedia wickpedia
(http://en.wikipedia.org/wiki/Trunked_Radio_Systems)
- [5] F.C.C. de Castro e M.C.F. de Castro, *Comunicações Digitais*.
- [6] _____Glossary and Definitions of Terms in TETRA. Disponível em: <http://www.tetramou.com/resources/files/TETRA_Gloss_Def_Iss1.pdf> (12/05)
- [7] H. Taub and D. L. Schilling, *Principles of Communications systems*, McGraw-Hill, 1986
- [8] J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 1995
- [9] Lúcio M. da Silva, *Teoria de Comunicações*
- [10] _____Motorola Tetra. Disponível em: <http://www.motorola.com/governmentandenterprise/wemea/en-gb/public/functions/browsesolution/browsesolution.aspx?navigationpath=id_804i> (12/05)
- [11] _____Nokia - Press Release. Disponível em: <<http://www.nokia.com.br/cda1?id=58320>> (12/05)
- [12] _____Nokia - Radio Features. Disponível em: <<http://europe.nokia.com/nokia/0,8764,2443,00.html>> (12/05)
- [13] _____Nokia - Reliable Communication. Disponível em: <<http://www.europe.nokia.com/cda1/0,4879,2233,00.html>>
- [14] _____Nokia - TETRA meets all Needs. Disponível em: <<http://www.europe.nokia.com/cda1/0,4879,2234,00.html>>
- [15] _____Nokia - What is TETRA. Disponível em: <<http://www.europe.nokia.com/nokia/0,8764,2232,00.html>>
- [16] Projeto MRS 2008

- [17] Simon Haykin, *Communication System*, 4th Edition
- [18] Stephen G. Wilson. *Digital Modulation and Coding*. Prentice-Hall, 1996. ISBN 0-13-210071-1.
- [19] _____Teleco. Disponível em: <www.teleco.com.br> (12/05)
- [20] _____TETRA Applications Listing. Disponível em: <<http://www.tetramou.com/resources/files/AppsListingsv7Oct03.xls>>
- [21] _____TETRA for Railways. Disponível em: <<http://www.tetramou.com/resources/files/rail1.rtf>> (12/05)
- [22] _____TETRA Today and Tommorrow. Disponível em: <<http://www.tetramou.com/resources/files/a000001.zip>> (12/05)
- [23] _____Tetramou. Disponível em: <www.tetramou.com>
- [24] _____TrunkedIP25-Overview. Disponível em: <<http://www.efjohnson.com/products/TrunkedIP25-Overview.pdf>>

