

FÁBIO DOS SANTOS
JOSÉ AMÉRICO PELLOSO
MARCO ANTONIO DI FRAIA

**SISTEMA SUPERVISÓRIO DE TELEMETRIA DE TRENS BASEADO
EM WiMAX MÓVEL: ESTUDO DE CASO APLICADO À COMPANHIA
PAULISTA DE TRENS METROPOLITANOS**

Monografia apresentada a Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para conclusão do curso de
Especialização em Tecnologia
Metroferroviária.

Orientador:
Prof. Livre-Docente Carlos Eduardo
Cugnasca

São Paulo
2010

ESP/TMF
2010
559₁

DEDALUS - Acervo - EPEL



31500019670

FICHA CATALOGRÁFICA

M2010D

↓
~~Dos Santos, Fábio~~

Pelloso, José Américo

Di Fraia, Marco Antonio

Sistema Supervisório de Telemetria de Trens Baseado em WiMAX Móvel: Estudo de Caso Aplicado à Companhia Paulista de Trens Metropolitanos / Fábio dos Santos, José Américo Pelloso, Marco Antonio Di Fraia. -- São Paulo, 2010.

147 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia Metroferroviária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1. Telemetria 2. WIMAX 3. Trem 4. SCADA I. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

2127 032

DEDICATÓRIA

À nossas famílias pelo amor, incentivo, apoio e paciência durante todo o tempo que dispensamos em prol da realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, a Deus, que nos deu força, coragem, saúde, perseverança e paciência no decorrer deste trabalho para enfrentar as dificuldades e para conseguir alcançar o objetivo, o qual nos propusemos atingir na realização desta monografia.

À CPTM e as nossas Chefias mediatas e imediatas, colegas e em especial a Sra. Luzia Ciola da Silva (área de recursos humanos) pela oportunidade e pelo apoio para a realização do curso de Pós Graduação em Tecnologia Metroferroviária.

Ao nosso Orientador Professor Dr. Carlos Eduardo Cugnasca que, apesar do pouco tempo de convívio, mostrou incontestável qualidade profissional e caráter, ao qual agradecemos pela enorme ajuda durante o desenvolvimento deste trabalho, pela presteza e pela paciência que nos atendeu, sempre de forma criteriosa, organizada, responsável e demonstrando propriedade na condução dos assuntos. Também agradecemos pela motivação, que foi fundamental para buscarmos o aprimoramento deste trabalho.

Aos Professores Dr. Wagner Luiz Zucchi e Dr. Antonio Fischer de Toledo pelo tempo despendido para nos ajudar esclarecendo dúvidas.

Ao Professor Adriano Almeida Góes, que contatamos durante o desenvolvimento deste trabalho e que nos recebeu prontamente, ajudando-nos com seus conhecimentos sobre sua dissertação de mestrado "Método de *Handover* Considerando Balanceamento de Tráfego para Sistemas com Modulação Adaptativa", que muito colaborou no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo que oferece subsídios para uma concepção de projeto de telemetria em tempo real via rede WiMAX móvel para os trens da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos. Este estudo está voltado à necessidade, cada vez maior, da Companhia aumentar a disponibilidade e a confiabilidade dos trens no sistema de transporte metropolitano. As variáveis críticas dos trens serão monitoradas remotamente pelo Centro de Controle Operacional e pelos Centros de Manutenção com o objetivo de antever as falhas e atuar de maneira rápida e eficiente para que usuários não sejam prejudicados. Prevê-se também o monitoramento por meio de imagens de câmeras de segurança instaladas dentro dos carros e a localização dos trens via GPS, usando a mesma rede. Para isso, desenvolveu-se uma proposta de estrutura considerando os requisitos básicos, operacionais, funcionais, de software e de hardware. O projeto é composto por um sistema supervisorizado centralizado e uma rede WiMAX móvel, com base na IEEE Standard 802.16-2009, parte 16, dimensionada por meio de simulações utilizando-se o modelo Erceg expandido para um sistema de transmissão sem fios para dados e imagens, prevendo-se a comutação entre células em velocidades de até 120 km/h em ambiente, predominantemente, urbano. Os resultados obtidos mostram que é viável a implantação da rede, dos pontos de vista técnico e econômico.

Palavras-chave: Telemetria. WiMAX. Trem. SCADA.

ABSTRACT

This work presents a study that provides informations for a real-time telemetry project via mobile WiMAX network for the trains of the Companhia Paulista de Trens Metropolitanos. It is directed to the need of the Company to increase the availability and reliability indexes of the metropolitan transportation system. The critical variables of the trains will be monitored remotely by the Operational Control Center and by the Maintenance Centers in order to predict failures and to act quickly and efficiently, so that users will not be adversely affected. It is also expected to monitor the trains by means of images from security cameras, installed inside the cars and the train position using a GPS equipment at the same network. To this purpose, a structure was developed considering the basic, operational, functional, software and hardware requirements. The project consists of a centralized supervisory system and a mobile WiMAX network based on IEEE Standard 802.16-2009, Part 16, scaled by simulations using the Expanded Erceg Model to a system of wireless transmissions for data and images and considering the switch between cells at speeds up to 120 km/h in an environment predominantly urban. The results show that it is possible deploy this network considering the technical and economic variables.

Keywords: Telemetry. WiMAX. Trains. SCADA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tendências da transmissão de voz e dados em redes móveis. Fonte: <i>Wireless Packaging International Consortium IWPC Milan (2008) apud Aguado et al. (2009)</i>	23
Figura 2 – Esquema simplificado das Linhas da CPTM – Fonte: site CPTM. Acesso abr. 2010.....	28
Figura 3 – Tecnologias <i>wireless</i> – Extraída do Guia Técnico Inatel – Guia das Cidades Digitais – Módulo 2: Tecnologia WiMAX (2009) – Fonte: site Guia das Cidades Digitais.	38
Figura 4 – Comparação e cronologia do desenvolvimento das diferentes tecnologias 3G e WiMAX atualmente disponíveis. Fonte: <i>Paper Comparing Mobile WiMAX, 3G and Beyond (2007)</i>	40
Figura 5 – Evolução da rede celular. Fonte: <i>Paper Comparing Mobile WiMAX, 3G and Beyond (2007)</i>	41
Figura 6 – Canal médio (perfil TDD) – Fonte: (GRAY, 2009, p. 15, tradução nossa).....	50
Figura 7 – Canal médio (perfil FDD) – Fonte: (GRAY, 2009, p. 15).	50
Figura 8 – Comparação de eficiência espectral LTE x WiMAX – Fonte: (GRAY, 2009, p. 23).	51
Figura 9 – Proposta do modelo de estrutura do SSTT – Fonte: (CPTM ET AM 8882-6, 2006, p. 20).	58
Figura 10 – Centro de Controle Operacional (CCO) do Brás na CPTM.	59
Figura 11 – Central de Monitoramento da Segurança na CPTM.	59
Figura 12 – Topologia do <i>backhaul</i> do sistema de transmissão WiMAX móvel proposto para o sistema o SSTT da CPTM.....	62
Figura 13 – Exemplo de tela de sistema de monitoramento de câmeras das estações – Fonte: Central de Monitoramento da Segurança da CPTM	86
Figura 14 – Exemplo de telas do sistema SCADA do trem série 7000 da CPTM – Fonte: Manual do trem série 7000.....	88
Figura 15 – Dispositivo aquisitor de dados com interface <i>Ethernet</i> – Fonte: NOVUS produtos eletrônicos Ltda.....	90

Figura 16 – Transdutor de pressão utilizado para testes de freio – Fonte: Fotografia tirada no laboratório de instrumentação de trens no Centro de Manutenção Presidente Altino – CPTM.	90
Figura 17 – Topologia básica dos sistemas embarcados para telemetria dos trens de séries antigas.	91
Figura 18 – Topologia básica dos sistemas embarcados para telemetria dos trens de última geração.	91
Figura 19 – Perda na propagação segundo modelo de Erceg expandido – Fonte: Goes (2009, p. 36).....	100
Figura 20 – Níveis de modulação aplicados à área de propagação – Fonte: Goes (2009, p. 38).....	101
Figura 21 – Detecção de <i>Handover</i> (HO) baseado no nível de sinal – Fonte: (ANDREWS; GHOSH; MUHAMED, 2007) apud Goes (2009, p. 40).	102
Figura 22 – Esquemático e método de cálculo do <i>Link Budget</i> – Fonte: http://www.wimax.com/education/wimax/site_survey >. Acesso em: 18 mar. 2010..	108
Figura 23 – Equipamento BreezeMax® 3650 - Fonte: < http://www.alvarion.com >. Acesso em abr. 2010.	109
Figura 24 – Planilha Excel utilizada nos cálculos do <i>Link Budget</i>	111
Figura 25 – Área de cobertura da Estação Base Brás (BS1) – Área Urbana.....	115
Figura 26 – Área de cobertura da Estação Base Barra Funda (BS2) – Área Urbana.....	116
Figura 27 – Área de cobertura da Estação Base Lapa (BS3) – Área Urbana.....	116
Figura 28 – Área de cobertura da Estação Base Jaraguá (BS4) – Área Suburbana.....	117
Figura 29 – Área de cobertura da Estação Base Caieiras (BS5) – Área Suburbana.....	117
Figura 30 – Área de cobertura da Estação Base Francisco Morato (BS6) – Área Suburbana.....	118
Figura 31 – Área de cobertura da Estação Base Campo Limpo (BS7) – Área Suburbana.....	118
Figura 32 – Área de cobertura da Estação Base Jundiaí (BS8) – Área Suburbana	119
Figura 33 – Distribuição das antenas na Linha 7 entre as estações e região do HO.....	119
Figura 34 – Distribuição das três subfaixas distintas de frequências entre as BS ..	120

Figura 35 – Selo de certificação do WiMAX Fórum – Fonte: < http://www.wimaxforum.org/ >. Acesso em abr. 2010.....	122
Figura 36 - Topologia final da proposta de projeto do Sistema Supervisório de Telemetria de Trens (SSTT) aplicado à CPTM, sistema de transmissão de dados sem fio WiMAX móvel e UTREM.....	123

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Potência recebida (<i>DOWNLINK</i>) para BS de 15 m.....	112
Gráfico 2 – Potência recebida (<i>UPLINK</i>) para BS de 15 m.	112
Gráfico 3 – Potência recebida (<i>DOWNLINK</i>) para BS de 30 m.....	113
Gráfico 4 – Potência recebida (<i>UPLINK</i>) para BS de 30 m.	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Benefícios e vantagens da monitoração – Fonte: Bergman (1999) apud Grandi (2000, p. 15).....	27
Tabela 2 – Quantidade de trens por série – Posição abr. 2010 – Fonte: Relatório de situação da frota – Extraída do site CPTM. Acesso em abr. 2010.	31
Tabela 3 – Quantidade de carros de trens por série – Posição abr. 2010 – Fonte: Relatório de situação da frota – Extraída do site CPTM. Acesso em abr. 2010.....	31
Tabela 4 – Frota de trens da CPTM em função das variáveis críticas que poderão ser monitorados pela telemetria – Situação abr. 2010.	37
Tabela 5 – Comparação das capacidades teóricas dos sistemas CDMA e WCDMA – Fonte: <i>Paper Comparing Mobile WiMAX, 3G and Beyond</i> – Fonte: Alvarion LTD (2) (2007, tradução nossa).	45
Tabela 6 – Comparação de desempenho entre WiMAX e HSPA+ – Fonte: (GRAY, 2009, p. 18).....	48
Tabela 7 – Comparação das taxas de pico de UL por usuário – Fonte: (GRAY, 2009, p. 19).....	49
Tabela 8 – Comparação entre LTE e WiMAX – Fonte: (GRAY, 2009, p. 21).....	51
Tabela 9 – Comparação de taxas de pico entre LTE e WiMAX – Fonte: (GRAY, 2009, p. 22).....	51
Tabela 10 – Tabela de protocolos de comunicação no SSTT.....	75
Tabela 11 – Capacidade – Demanda total por variável e por série de trem.....	96
Tabela 12 – Parâmetros para classificação do ambiente no modelo de ERCEG – Fonte: Goes (2009, p. 34).	99
Tabela 13 – Classificação da área e distância entre estações da Linha 7.....	104
Tabela 14 – Classificação da área e distância entre estações da Linha 8.....	104
Tabela 15 – Classificação da área e distância entre estações da Linha 9.....	105
Tabela 16 – Classificação da área e distância entre estações da Linha 10.....	105
Tabela 17 – Classificação da área e distância entre estações da Linha 11.....	106
Tabela 18 – Classificação da área e distância entre estações da Linha 12.....	106
Tabela 19 – Dados técnicos do equipamento <i>BreezeMax®</i> 3650 – Fonte: Alvarion.....	109
Tabela 20 – Taxa de dados para a modulação adaptativa – Fonte: (WiMAX Forum, 2006).....	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1G	<i>1rd Generation – cellular technologies</i>
2G	<i>2rd Generation – cellular technologies</i>
3G	<i>3rd Generation – cellular technologies</i>
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Program</i>
4G	<i>4rd Generation</i>
1xRTT	<i>1 times Radio Transmission Technology</i>
AAA	<i>Authorization, Authentication and Accounting</i>
AAS	<i>Advanced Antenna System</i>
AMC	<i>Adaptive Modulation and Coding</i>
API	<i>Application Program Interface</i>
ASN GW	<i>Access Services Network Gateway</i>
ASP	<i>Application Service Provider</i>
BDTR	<i>Base de Dados de Tempo Real</i>
BS	<i>Base Station (Estação Base)</i>
BS1-BAS	<i>Base Station 1 – Brás</i>
BS2-BFU	<i>Base Station 2 – Palmeiras-Barra Funda</i>
BS3-LPA	<i>Base Station 3 – Lapa A</i>
BS4-JRG	<i>Base Station 4 – Jaraguá</i>
BS5-CAI	<i>Base Station 5 – Caieiras</i>
BS6-FMO	<i>Base Station 6 – Francisco Morato</i>
BS7-CLP	<i>Base Station 7 – Campo Limpo Paulista</i>
BS8-JUN	<i>Base Station 8 – Jundiaí</i>
BSP	<i>Estação Base Principal</i>
BSS	<i>Subscriber Base Station</i>
BW	<i>Bandwidth</i>
BWA	<i>Broadband Wireless Access</i>
CA	<i>Corrente Alternada</i>
CCO	<i>Centro de Controle Operacional</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
cdmaOne	<i>Code Division Multiple Access One</i>
CFTV	<i>Circuito Fechado de TV</i>
CPTM	<i>Companhia Paulista de Trens Metropolitanos</i>

CSN	<i>Connectivity Service Network</i>
CTC	<i>Turbo Convolutional Code</i>
DL	<i>Downlink</i>
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
ECC	<i>Código de correção de erro</i>
EDGE	<i>Enhanced Data rates for GSM Evolution</i>
EVDO	<i>Evolution Data Optimized</i>
EVDV	<i>Evolution Data Voice</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
FIFO	<i>First In First Out</i>
GSM	<i>Global System for Mobile</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HARQ	<i>Hybrid Automatic Retransmission Request</i>
HO	<i>Handover</i>
HSDPA	<i>High Speed Download Packet Access</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
HSR	<i>High Speed Rail</i>
HSUPA	<i>High Speed Upload Packet Access</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IHM	<i>Interface Homem Máquina</i>
IMT-2000	<i>International Mobile Telecommunications-2000</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ITRI	<i>Industrial Technology Research Institute</i>
ITU-R	<i>International Telecommunications Union – Radio</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LED	<i>Light Emitting Diodes</i>
LOS	<i>Line-Of-Sight</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MIMO	<i>Multiple-Input Multiple-Output</i>
MIP-HA	<i>Mobile IP Home Agent</i>

MPEG-4	<i>Motion Picture Experts Group - 4</i>
MR	Formação do trem, carros: Motor – Reboque
MRR	Formação do trem, carros: Motor – Reboque – Reboque
MRRM	Formação do trem, carros: Motor – Reboque – Reboque - Motor
MS	<i>Mobile Station</i>
MS SQL	<i>Microsoft Structured Query Language</i>
MSCS	<i>Microsoft Cluster Service</i>
NLOS	<i>Non-Line-Of-Sight</i>
ODBC	<i>Open Data Base Connect</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access</i>
OLE	<i>Object Linking and Embedding</i>
OPC	<i>OLE for Process Control</i>
OSS	<i>Operational Support Systems</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
PHY	<i>Physical Layer</i>
PUSC	<i>Partially Used Sub-Channel</i>
QAM	<i>Quadrature and Amplitude Modulation</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RAID	<i>Redundant Array of Inexpensive Disks</i>
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i>
RGB	<i>Red-Green-Blue</i>
RMR	Formação do trem, carros: Reboque – Motor – Reboque
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>
SC-FDMA	<i>Single Carrier Frequency Division Multiple Access</i>
SIMO	<i>Single-Input and Multiple-Output</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
SOFDMA	<i>Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
SS	<i>Signal Strength</i>
SSTT	Sistema Supervisório de Telemetria de Trens
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TDD	<i>Time Division Duplexing</i>

TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TI	Tecnologia da Informação
TU	Trem Unidade
UIT	<i>International Telecommunication Union</i>
UL	<i>Uplink</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
UTREM	Unidade de Transmissão Remota Embarcada Móvel
UWB	<i>Ultra-Wide-Band</i>
VGA	<i>Video Graphics Array</i>
VoIP	<i>Voice over Internet Protocol</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
WEB	<i>World Wide Web</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
WiMAX	<i>Wireless Interoperability for Microwave Access</i>
W-LAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
W-MAN	<i>Wireless Metropolitan Access Network</i>
W-PAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
W-WAN	<i>Wireless Wide Area Network</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampère
bar	Unidade de pressão igual a 100 kPa
Bit	<i>Binary Digit</i>
b/Hz	Bits por hertz
bps	Bits por segundo
dB_i	Decibéis Isotrópico
dB_m	Relação potência em decibéis (dB) da potência medida com referência a um miliwatt (mW)
fps	Frames por segundo
Gbps	Gigabits por segundo
Hz	Hertz
Kbps	Kilobits por segundo
km	Quilômetro
km/h	Quilômetro por hora
MBps	Megabyte por segundo
Mbps	Megabits por segundo
m	Metro
m/s	Metro por segundo
Pa	Pascal
s	Segundo
V	Volt

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	21
1.1	OBJETIVO.....	21
1.2	MOTIVAÇÕES E JUSTIFICATIVAS	22
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	25
2.1	A NORMA IEEE <i>Standard</i> 802.16-2009 PART 16.....	25
2.2	CONCEITUAÇÃO: MONITORAMENTO, DIAGNÓSTICO E TELEMETRIA... 25	
3.	A CPTM E A NECESSIDADE DO SISTEMA DE TELEMETRIA DE TRENS 28	
3.1	CENTRO DE CONTROLE OPERACIONAL.....	29
3.2	CENTROS DE MANUTENÇÃO.....	30
3.3	FROTA	30
3.4	IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS CRÍTICAS	32
3.5	SISTEMAS MONITORADOS EM TEMPO REAL	32
3.5.1	Velocidade.....	33
3.5.2	Tensão de linha.....	33
3.5.3	Conversor estático auxiliar	34
3.5.4	Esforço trator.....	34
3.5.5	Esforço de Frenagem.....	35
3.5.6	Freio pneumático.....	35
3.5.7	Produção de ar.....	35
3.5.8	Portas.....	35
3.5.9	Refrigeração.....	36
3.5.10	Vídeo vigilância	36
3.5.11	Rastreamento via satélite.....	36
3.5.12	Quadro resumo da frota de trens - Variáveis a serem monitoradas	36
4.	SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS SEM FIO.....	38
4.1	TECNOLOGIA DE ALTA CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO DE DADOS SEM FIO.....	39
4.2	TECNOLOGIAS 3G.....	41
4.3	TECNOLOGIAS 4G.....	45
4.3.1	WiMAX	45
4.3.2	LTE.....	47

4.4	COMPARAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS HSPA (3G), WIMAX MÓVEL E LTE (4G).....	47
4.4.1	WiMAX versus HSPA+	48
4.4.2	WiMAX versus LTE	50
4.5	JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DA TECNOLOGIA WIMAX.....	53
4.5.1	Contribuições do uso de rede WiMAX para a Companhia	54
5.	SISTEMA SUPERVISÓRIO DE TELEMETRIA DE TRENS (SSTT).....	56
5.1	REQUISITOS GERAIS	57
5.1.1	Estrutura do Sistema	57
5.1.2	Requisitos da Operação.....	60
5.1.2.1	SSTT	60
5.1.2.2	Sistemas embarcados – UTREM	60
5.1.2.3	Sistema de comunicação de dados entre o SSTT e as UTREM.....	61
5.1.3	Capacidade do sistema.....	62
5.1.4	Características gerais.....	63
5.1.5	Sistema SCADA do SSTT	63
5.1.6	Sistema SCADA dos Centros de Manutenção	64
5.1.7	Concepção do sistema e as funções Críticas e Não Críticas.....	65
5.2	REQUISITOS FUNCIONAIS DO SSTT	67
5.2.1	Subsistemas do SCADA do SSTT	67
5.2.1.1	Servidor de comunicação e base de dados de tempo real (BDTR) do SCADA	67
5.2.1.2	Servidor de dados históricos	69
5.2.1.3	Servidor de WEB.....	70
5.2.1.4	Servidor de imagens.....	71
5.2.1.5	Consoles de supervisão	72
5.2.1.6	Console de manutenção, treinamento e auditoria.....	72
5.2.1.7	Consoles da rede corporativa.....	73
5.2.1.8	Sistema de retroprojeção	73
5.2.2	Operação e correlação dos servidores do SSTT.....	74
5.2.3	Funcionalidades dos módulos de comunicação.....	75
5.3	REQUISITOS DE <i>HARDWARE</i>	75
5.3.1	Unidade central de processamento e memória principal.....	76
5.3.2	Unidades de armazenamento de massa.....	77

5.3.3	Rede Local Area Network (LAN)	78
5.4	REQUISITOS DE SOFTWARE	78
5.4.1	<i>Sistemas operacionais e softwares básicos</i>	82
5.4.2	<i>Softwares aplicativos</i>	82
5.4.2.1	<i>Software SCADA</i>	82
5.4.2.2	<i>Middleware</i>	83
5.4.2.3	<i>Software do sistema de vídeo vigilância</i>	84
6.	UTREM E O SISTEMA DE SENSORIAMENTO DE TRENS	87
6.1	SISTEMA SCADA DOS TRENS	87
6.2	SISTEMA DE COMUNICAÇÃO MODBUS TCP/IP	89
6.3	SISTEMAS EMBARCADOS NOS TRENS	89
6.3.1	Trens de séries antigas	89
6.3.2	Trens de última geração	91
6.3.3	Sensoriamento do trem	91
6.3.3.1	Tração	91
6.3.3.2	Alimentação principal	92
6.3.3.3	Alimentação auxiliar – conversor estático	92
6.3.3.4	Tração e frenagem	92
6.3.3.5	Freio pneumático	92
6.3.3.6	Produção de ar	93
6.3.3.7	Portas	93
6.3.3.8	Refrigeração	93
6.3.3.9	Vídeo vigilância	93
6.3.3.10	Rastreamento via satélite	93
6.3.4	Capacidade	94
6.3.4.1	Identificação do trem	94
6.3.4.2	Tração	94
6.3.4.3	Alimentação principal	94
6.3.4.4	Alimentação auxiliar – conversor estático	94
6.3.4.5	Tração e freio	94
6.3.4.6	Freio pneumático	95
6.3.4.7	Produção de ar	95
6.3.4.8	Portas	95
6.3.4.9	Refrigeração	95

6.3.4.10	Vídeo vigilância.....	95
6.3.4.11	Módulo GPS.....	95
7.	DIMENSIONAMENTO DA REDE WIMAX MÓVEL PADRÃO IEEE STANDARD 802.16-2009.....	97
7.1	MÉTODO DE PROPAGAÇÃO.....	97
7.1.1	Modelo <i>Handover</i> proposto segundo (GOES, 2009).....	101
7.1.2	Modelo de <i>Fading</i>	102
7.1.3	Classificação dos terrenos nas Linhas da CPTM.....	103
7.2	SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO – CÁLCULO DO LINK BUDGET DAS ESTAÇÕES BASE PARA A LINHA 7 DA CPTM.....	106
7.2.1	Cálculo para o <i>Link Budget</i>	111
7.2.2	Área de cobertura e quantidade de BS para a Linha 7 da CPTM.....	114
7.2.3	Utilização das frequências nas Estações Base.....	120
7.2.4	Comunicação entre Estações Bases e o SSTT (<i>Backhaul</i>).....	120
7.2.5	Comunicação na região de túneis.....	121
7.2.6	Equipamentos e instalações.....	121
7.2.6.1	Instalações fixas.....	121
7.2.6.2	Torres.....	121
7.2.6.3	Antenas.....	121
7.2.6.4	Equipamentos.....	121
7.2.7	Considerações Finais.....	121
8.	CONCLUSÕES.....	124
	REFERÊNCIAS.....	129
	ANEXO 1 - Mapa do Transporte Metropolitano.....	133
	ANEXO 2 - Frota de Trens da CPTM.....	134
	ANEXO 3 - Topologia do <i>Backhaul</i> do Sistema de Transmissão WiMAX Móvel Proposto para o Sistema SSTT da CPTM.....	147

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais, a sociedade cobra eficiência, disponibilidade, confiabilidade e segurança das empresas que operam transporte sobre trilhos, haja vista a expansão de cidades como São Paulo. Essa expansão demanda um sistema de transporte de alta capacidade e com *headway* (intervalo de tempo entre trens) cada vez menores. Neste panorama, a confiabilidade e a disponibilidade dos sistemas são índices de desempenho críticos para os Departamentos de Operação e de Manutenção e requerem monitoramento e diagnósticos mais rápidos e eficientes. Destaca-se, dentre os vários itens que compõem o complexo sistema de transporte metropolitano sobre trilhos, o trem. Diante desta necessidade, a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), como outras empresas do setor, estão buscando alternativas para agilizar, controlar e antecipar problemas, bem como, baratear seus produtos/serviços e, principalmente, preservar sua imagem de operadora eficiente. Portanto é preciso alterar métodos de trabalho utilizando os recursos atualmente disponíveis, como as Tecnologias da Informação (TI) e das telecomunicações.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é elaborar um estudo para proporcionar subsídios para a concepção de um projeto para telemetria de trens em tempo real, de forma centralizada, com foco à necessidade e aplicação na CPTM, com a finalidade de monitorar parâmetros de desempenho e manutenção de sistemas/equipamentos críticos embarcados nos trens em operação. A finalidade da proposta do sistema é o aumento da rapidez nas tomadas de decisões operacionais, da manutenção e da segurança. A Companhia busca formas de controlar, em tempo real e de maneira remota, situações críticas, sistemas e equipamentos importantes. Os diagnósticos de problemas de alguns sistemas são fundamentais para antever falhas mais graves, que possam levar à retirada do trem em operação, gerando prejuízos para muitos usuários. Além disso, o sistema também irá possibilitar o monitoramento por meio de câmeras de vídeo, para aumentar a segurança dos usuários dentro dos trens, coibindo atos criminais e venda ilegal de produtos. Espera-se, com este trabalho, que sejam fornecidos subsídios suficientes para orientar uma futura Especificação Técnica de um sistema de telemetria (com transmissão de vídeo, dados e geoposicionamento), que seja viável dos pontos de vista técnico e econômico.

1.2 MOTIVAÇÕES E JUSTIFICATIVAS

O presente trabalho foi motivado pelas dificuldades enfrentadas atualmente pela CPTM em busca de rapidez na tomada de decisões operacionais. Em virtude de a Companhia possuir diversas séries de trens (antigos, reformados e novos) com diferentes tecnologias, é um grande desafio mantê-los dentro de índices de confiabilidade e disponibilidade desejáveis. Associado a isto, atualmente há o crescente aumento na demanda de usuários com a melhora dos serviços e a redução do tempo de viagem na ferrovia quando comparado aos outros modais de transporte. A CPTM opera atualmente com capacidade máxima e qualquer problema ou falha de equipamento geram transtornos imediatos, agravados pela superlotação do sistema. Isto posto, há a necessidade de se possuir sistemas que antecipem os problemas, para que as áreas de manutenção e de operação efetuem ações preventivas, de maneira que o trem não fique indisponível, ou caso contrário, ações que minimizem os transtornos operacionais. Esse sistema deve ser centralizado, para possibilitar, por meio de dados e informações obtidas, estabelecerem-se estratégias e ações integradas para evitar prejuízos aos usuários.

Segundo pesquisas de mercado verificou-se que há poucos sistemas deste gênero, porém limitados à transmissão de dados *on-line* em banda estreita, que não atendem as atuais necessidades. A escassez de soluções foi observada em pesquisas na *Internet*, pois recentemente vinculou-se na mídia uma notícia¹ informando sobre o sucesso de testes de acesso a *Internet* de banda larga móvel, em trens de alta velocidade, a uma velocidade de 300 km/h, ocorrido na *Industrial Technology Research Institute (ITRI) de Taiwan*, a bordo do *High Speed Rail (HSR)* no norte de Taiwan na cidade de Taipei, porém sem detalhes técnicos (PANGBORN, 2010, tradução nossa).

Segundo Aguado et al. (2009, p. 429, tradução nossa), hoje, as tecnologias emergentes de banda larga de acesso sem fio enfrentam um desafio de longo prazo para resolver adequadamente as limitações do ar como canal de ligação, para atender a crescente demanda de serviços, a mobilidade rápida e ampla cobertura, como pode ser observado na Figura 1 que futuramente a maior tendência é para o uso de serviços de dados do que de voz. Um dos mais exigentes e desafiadores cenários é o de alta mobilidade correspondente ao domínio ferroviário, cujas

¹ Notícia publicada no site WiMAX.com.

organizações como a *International Telecommunication Union* (UIT), divisão de rádio *International Telecommunications Union – Radio* (ITU-R), em sua padronização, em 2007, decidiu incluir a tecnologia WiMAX na família de normas *International Mobile Telecommunications-2000* (IMT). No futuro a próxima especificação da IEEE 802.16, o projeto IEEE 802.16m, vai cobrir as classes de mobilidade e cenários suportados pelo *IMT-Advanced*, incluindo a alta velocidade veicular.

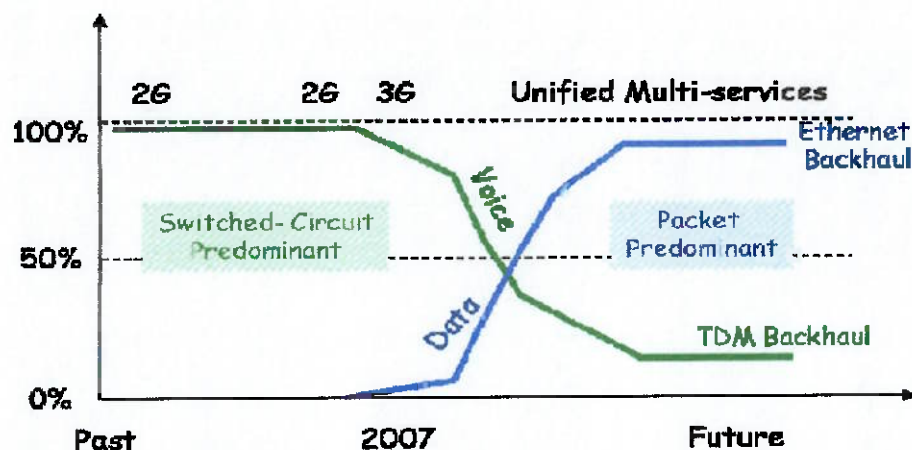


Figura 1 – Tendências da transmissão de voz e dados em redes móveis. Fonte: *Wireless Packaging International Consortium IWPC Milan* (2008) apud Aguado et al. (2009).

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho se inicia com um capítulo introdutório, no qual são descritos o objetivo, motivações e justificativas para o desenvolvimento do estudo e sua estrutura.

No segundo capítulo se apresentam as considerações iniciais referentes à norma em vigor e necessárias conceituações.

No terceiro capítulo, apresenta-se a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, o Centro de Controle Operacional (CCO), os centros de manutenção de trens, a frota de trens e, especificamente, os sistemas críticos que deverão ser monitorados pela telemetria.

No quarto capítulo discutem-se as tecnologias sem fio disponíveis no mercado para transmissão de dados/imagens, as vantagens e desvantagens de cada tecnologia e a justificativa para a escolha, neste trabalho, da tecnologia WiMAX.

No quinto capítulo, apresentam-se a concepção e o detalhamento do projeto do Sistema Supervisório de Telemetria de Trens (SSTT) aplicado à CPTM.

No sexto capítulo, apresenta-se a concepção e o detalhamento do projeto da Unidade de Transmissão Remota Embarcada Móvel (UTREM) aplicada à CPTM.

No sétimo capítulo, apresenta-se a concepção e o detalhamento do projeto da rede WiMAX móvel aplicado à CPTM.

No oitavo capítulo, apresentam-se as conclusões, as perspectivas de continuidade deste trabalho em trabalhos futuros e as considerações finais.

Em seguida, apresentam-se as referências e os anexos.

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

2.1 A NORMA IEEE *Standard* 802.16-2009 PART 16

Recentemente, no ano de 2009, houve uma revisão da norma IEEE 802.16e-2005 efetuada pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), passando a vigorar a nova norma IEEE *Standard* 802.16-2009 Part 16: *Air Interface for Broadband Wireless Access Systems* (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2009). Esta norma em vigor agrupou várias normas correlatas, incluindo a antiga norma IEEE 802.16e-2005 que é a base deste trabalho. Isto posto, em virtude da recente mudança, no desenvolvimento deste trabalho haverá muitas menções à antiga norma IEEE 802.16e-2005, haja vista que nas pesquisas efetuadas existe ainda vasta literatura que a cita. Basicamente, com a revisão da norma, comparada à antiga norma em referência, neste estudo foi observado que manteve a sua essência; alterou-se a camada *Medium Access Control* (MAC) e *Physical Layer* (PHY), havendo uma tendência para que os sistemas sejam desenvolvidos para funcionar de maneira híbrida, ou seja, utilizou-se a combinação dos sistemas fixo e móvel ponto-multiponto, como pode ser observado no *abstract* da referida norma em vigor (IEEE *Standard* 802.16-2009, p. II, tradução nossa):

Esta norma especifica a interface aérea, incluindo a camada de controle de acesso médio (MAC) e a camada física (PHY), combinações dos sistemas fixo e móvel ponto-multiponto de acesso em *Broadband Wireless Access* (BWA), sistemas de prestação de serviços múltiplos. O MAC está estruturado para suportar especificações múltiplas da camada física (PHY), cada uma delas adequada a um determinado ambiente operacional. A norma permite a implementação rápida de soluções inovadoras em todo o mundo, o custo efetivo, de múltiplos produtos de banda larga e interoperáveis de acesso sem fio que facilita a concorrência no acesso em banda larga, oferecendo alternativas para acesso à banda larga fixa, incentiva uma atribuição consistente do espectro em todo o mundo e acelera a comercialização de sistemas de banda larga *wireless*. A norma é uma revisão da IEEE *Standard* 802.16-2004, e consolida a partir do material da IEEE *Standard* 802.16eTM de 2005, o IEEE 802.16-2004/Cor1-2005, IEEE 802.16fTM de 2005, e IEEE *Standard* 802.16gTM de 2007, juntamente com os itens adicionais de manutenção e melhorias no gerenciamento de informação de base para especificações. Esta revisão substitui e norma obsoleta IEEE 802.16-2004 e todas as suas posteriores alterações e retificações.

2.2 CONCEITUAÇÃO: MONITORAMENTO, DIAGNÓSTICO E TELEMETRIA

Para compreender a finalidade deste trabalho devem ser conceituados os significados de monitoramento, diagnóstico e telemetria.

O monitoramento pode ser usado para muitas finalidades principalmente para determinar a condição do equipamento. Por meio de coletas de dados e informações, usando-se dispositivos eletrônicos inteligentes, realizam-se monitoramentos sobre os estados dos equipamentos. Com cruzamentos dos dados e informações monitoradas, por meio de análises relacionais, em base computacional ou por meio de conclusões de analistas e especialistas, obtêm-se diagnósticos. Assim, a diferença entre monitorar e diagnosticar é que o monitoramento permite a aquisição de dados e o diagnóstico utiliza esses dados para avaliar o estado dos equipamentos. O monitoramento é a base para o diagnóstico. Sem o diagnóstico, os dados medidos seriam apenas dados (GRANDI, 2000, p. 14).

Para definir o que é **Telemetria**, conforme citado por Rozas² (2004, p.13):

Telemetria [De *telê* (do grego = longe, ao longe) + *métron* (do grego = que mede, medição)] S.f., é a técnica da obtenção, processamento e transmissão de dados à distância.

A telemetria tem aplicação em quase todos os campos da atividade humana pela sua eficiência e rapidez como são coletados os dados e, ainda, pela possibilidade de ser realizada em vários locais, sejam inconvenientes, inóspitos ou móveis, em tempos quase instantâneos, de forma contínua ou em períodos determinados (RABASSA; FERNANDES, 2008, p. 11).

Assim, pode-se observar que a aplicabilidade da telemetria é muito ampla. Para se monitorar variáveis usando telemetria necessita-se de recursos tecnológicos eficientes, pois o monitoramento é realizado a distância e envolve sistemas fixos e móveis. Os dados podem ser transferidos por meio de telefone, rádio, redes de computadores ou por meio de enlace óptico. Para os sistemas fixos e móveis, o que determina a escolha do meio de transmissão é a viabilidade técnica e econômica. Na inviabilidade da utilização de sistemas fixos que sejam distantes impossibilitados de implantação de infraestrutura específica, geralmente utilizam-se tecnologias sem fio (sistema de rádio para implementar um enlace de dados, por exemplo, *Wireless Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) e sistemas celulares com interfaces próprias para transmissão de dados, tais como, *Code Division Multiple Access* (CDMA), *General Packet Radio Service* (GPRS), *Global System for Mobile* (GSM) e *Enhanced Data rates for GSM Evolution* (EDGE). Um sistema de monitoramento

² Artigo: O que é Telemetria. Revista Gás Brasil, 3ª Edição, 2004

(telemetria) deve ser desenvolvido para que o equipamento possa operar com alta disponibilidade e o com prolongamento da sua vida útil, bem como, sob a análise da relação dos custos em função dos benefícios de sua implementação, principalmente com relação aos benefícios esperados que permita uma avaliação mais apurada dos valores monitorados, como pode ser observado na Tabela 1 (GRANDI, 2000, p. 15).

Tabela 1 – Benefícios e vantagens da monitoração – Fonte: Bergman (1999) apud Grandi (2000, p. 15).

APLICAÇÃO	BENEFÍCIOS E VANTAGENS
Status operacional	<ul style="list-style-type: none"> • Determina a capacidade operacional do equipamento. • Determina o <i>status</i> operacional do equipamento.
Prevenção de falhas	<ul style="list-style-type: none"> • Avalia a condição do equipamento, detecta condições anormais e inicia ações para prevenir falhas.
Suporte à manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Avalia a condição do equipamento e inicia a manutenção se estiver ocorrendo alguma degradação. • Dá assistência ao plano de manutenção. • Determina a condição de equipamento similar.
Avaliação de durabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Avalia condições funcionais do equipamento e determina o tempo de operacionalidade do mesmo. • Determina condições anormais.
Otimização operacional	<ul style="list-style-type: none"> • Avalia a condição funcional do equipamento maximizando a função do equipamento. • Controla os efeitos da carga, verificando a condição do equipamento. • Otimiza a operação do equipamento no sistema.
Comissionamento e teste	<ul style="list-style-type: none"> • Confirma se a condição de instalação está correta e ajustada. • Avalia a condição do equipamento e implementa teste de aceitação. • Automatiza a coleta e preservação da condição básica dos dados e características.
Análise das falhas	<ul style="list-style-type: none"> • Prevê informações prioritárias após ocorrência de falha.
Segurança dos empregados	<ul style="list-style-type: none"> • Previne as condições de insegurança das pessoas.
Segurança do ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Previne as condições de insegurança dos equipamentos.

Isto posto, propõe-se utilizar a telemetria nos trens para monitorar suas variáveis críticas, aquisitando dados em tempo real para o gestão dos problemas e soluções, bem como gerenciar o ativo, proporcionando a melhora da manutenção e o aumento da vida útil dos equipamentos.

3. A CPTM E A NECESSIDADE DO SISTEMA DE TELEMETRIA DE TRENS

Neste capítulo será apresentada a CPTM, as particularidades quanto à frota de trens, o Centro de Controle Operacional (CCO), os Centros de Manutenção de Trens, os aspectos sobre as variáveis críticas dos trens (causas e conseqüências da falta de seu controle) e, quais pontos dos trens serão monitorados.

Atualmente a CPTM atende 22 municípios e se apresenta como uma alternativa para atenuar o problema da mobilidade na Região Metropolitana de São Paulo. A Companhia dispõe de uma extensão total de, aproximadamente 261 km de vias, com 89 estações operacionais distribuídas nas seis linhas do sistema, conforme mostra a Figura 2. Vide detalhes no Anexo 1 – Mapa do Transporte Metropolitano.

A frota operacional conta com 283 Trens Unidades (TU) disponíveis para operação, transportando em média, aproximadamente, 2.200.000 usuários por dia (dados de abr. 2010):

- Linha 7: Rubi (Luz – Jundiaí) – 60,49 km de extensão;
- Linha 8: Diamante (Júlio Prestes – Amador Bueno) – 41,62 km de extensão;
- Linha 9: Esmeralda (Osasco – Grajaú) – 31,81 km de extensão;
- Linha 10: Turquesa (Luz – Rio Grande da Serra) – 37,20 km de extensão;
- Linha 11: Coral (Luz – Estudantes) – 50,84 km de extensão;
- Linha 12: Safira (Brás – Calmon Viana) – 38,82 km de extensão.



Figura 2 – Esquema simplificado das Linhas da CPTM – Fonte: site CPTM. Acesso abr. 2010.

A necessidade de a Companhia possuir um Sistema Supervisório de Telemetria para monitoramento de sua frota de trens justifica-se pelos seguintes motivos, segundo Pereira do Nascimento Junior (2004):

- A necessidade de otimizar o desempenho de uma frota de trens composta por mais de um tipo de trens com características e curvas de desempenho diferentes;
- Os sistemas supervisórios para o controle de tráfego, embora eficientes, não foram concebidos para o monitoramento da normalidade dos equipamentos dos trens;
- Não há possibilidade de prognosticar possíveis falhas em equipamentos de bordo e, tampouco, prever seus efeitos colaterais, de forma que não há como antever e estabelecer estratégias preventivas em tempo hábil a fim de garantir a confiabilidade e a regularidade da operação de trens;
- Sem outras alternativas o CCO procuram desenvolver mecanismos para levantar dados obtidos (históricos) e não *on-line* e sem um padrão comum, podendo resultar em decisões equivocadas devido às imprecisões e erros, incorrendo em diagnósticos sem prognósticos precisos do tráfego de trens e/ou manutenção preventiva e preditiva do estado da frota em operação.

3.1 CENTRO DE CONTROLE OPERACIONAL

Trata-se de um centro responsável por toda a operação e a circulação de trens. Programa os intervalos e possui estratégias de decisão para cada problema que possa ocorrer durante a viagem. O CCO também é responsável pela circulação de veículos de manutenção, de trens de cargas e de locomotivas. Opera durante as 24 horas do dia.

O CCO:

- Opera baseado em gráficos de circulação previamente planejados, nos quais se encontram as programações de viagens dos trens, *headway* (intervalos de tempo entre trens), o controle da disponibilidade da frota e também a regulação da sua circulação;
- Realiza o alinhamento de rotas de circulação, abertura de sinais e manobras nos aparelhos de mudança de via para possibilitar a circulação dos trens e acompanha a circulação dos mesmos, por meio do uso de Interface Homem Máquina (IHM) ou pelos painéis retroprojetados, nos quais constam todas as

ocupações geradas pelas composições e suas respectivas identificações/posições nas linhas;

- Toma decisões baseadas nos problemas detectados pelos maquinistas ou pelos empregados que trabalham nas plataformas das estações.

3.2 CENTROS DE MANUTENÇÃO

São locais destinados para a realização da manutenção dos trens.

Existem cinco Centros de Manutenção na CPTM responsáveis pelo atendimento de trens em suas respectivas linhas: trens que operam nas Linhas 7 e 10 – Centros da Lapa e da Luz; trens que operam nas Linhas 11 e 12 – Centros de Engenheiro São Paulo e Roosevelt; trens que operam nas linhas 8 e 9 – Centro de Presidente Altino. A atual frota de trens disponível operacional contempla trens de idades e tecnologias distintas, incluindo trens antigos que já sofreram várias remodelações para aumento de sua vida útil e melhora tecnológica e trens com tecnologia de última geração. Os trens antigos não possuem sistemas de monitoramento. Os trens modernos permitem monitoramento e diagnósticos por meio de comunicação física entre o trem e *notebooks* de manutenção, situação limitada e restritiva, pois este tipo de procedimento demanda tempo e não é eficaz operacionalmente. Portanto a proposição de adequar trens novos e antigos de dispor de recursos de telemetria com equipamentos *wireless*, objetiva proporcionar diagnóstico instantâneo durante a circulação dos trens nas Linhas e, na sua aproximação e dentro dos Centros de Manutenção.

3.3 FROTA

A CPTM conta atualmente com uma frota de 365 Trens Unidades (TU), destes, 283 TU estão em operação, correspondendo a 899 carros de passageiros disponíveis, o restante está em reforma/remodelação, conforme apresentado na Tabela 2 e na Tabela 3.

Tabela 2 – Quantidade de trens por série – Posição abr. 2010 – Fonte: Relatório de situação da frota – Extraída do site CPTM. Acesso em abr. 2010.

SÉRIE	FROTA TOTAL (PATRIMONIAL)	FROTA IMOBILIZADA				FROTA OPERACIONAL			
		CPTM	TERCEIROS	AGUARDA	TOTAL	DISPONÍVEL	RETIDO	TOTAL	
1100	22	2	0	0	2	20	0	20	20
1400	17	7	3	3	13	4	0	4	4
1600	19	6	0	6	12	7	0	7	7
1700	25	0	0	3	3	21	1	22	22
2000FII	12	0	1	0	1	11	0	11	11
2000	30	2	0	0	2	28	0	28	28
2100	48	7	0	0	7	41	0	41	41
3000	10	1	0	0	1	9	0	9	9
4400	32	0	0	0	0	30	2	32	32
4800	3	0	0	0	0	3	0	3	3
5000	96	0	0	18	18	74	4	78	78
5500	31	8	4	7	19	12	0	12	12
5500FII	16	0	0	4	4	8	4	12	12
7000	4	0	0	0	0	4	0	4	4
QTDE	365	33	8	41	82	272	11	283	283
%	100	9,0	2,2	11,2	22,5	74,5	3,0	77,5	77,5

Tabela 3 – Quantidade de carros de trens por série – Posição abr. 2010 – Fonte: Relatório de situação da frota – Extraída do site CPTM. Acesso em abr. 2010.

SÉRIE	IDADE	FORMAÇÃO ³	QTDE CARROS POR TU	FROTA TOTAL (PATRIMONIAL)			FROTA OPERACIONAL		FROTA DISPONÍVEL	
				TU	CARROS		TU	CARROS	TU	CARROS
					FORMADOS	AVULSOS				
1100	54	MRR	3	22	66	2	20	60	20	60
1400 (7)	34	MRR	3	1	3	0	0	0	0	0
1400 (11/12)	34	MRR	3	16	48	1	4	12	4	12
1600 (7)	32	MRR	3	1	3	0	1	3	1	3
1600 (11/12)	32	MRR	3	18	54	3	6	18	6	18
1700	23	MRRM	4	25	100	0	22	88	21	84
2000FII	2	MRRM	4	12	48	0	11	44	11	44
2000	11	MRRM	4	30	120	0	28	112	28	112
2100 (10)	36	MRR	3	36	108	0	33	99	33	99
2100 (9)	36	MRR	3	12	36	0	8	24	8	24
3000	10	MRRM	4	10	40	0	9	36	9	36
4400	45	RMR	3	32	96	0	32	96	30	90
4800	52	RMR	3	3	9	0	3	9	3	9
5000	32	MRR	3	96	288	2	78	234	74	222
5500	31	MR	2	31	62	46	12	24	12	24
5500FII	31	MR	2	16	32	0	12	24	8	16
7000 (7)	0	MRRM	4	2	8	0	2	8	2	8
7000 (12)	0	MRRM	4	2	8	0	2	8	2	8
TOTAIS			365		1.129	54	283	899	272	869
					1.183					

³ Formação do trem - carros: MRR: Motor - Reboque - Reboque; MRRM: Motor - Reboque - Reboque - Motor; MRR: Motor - Reboque - Reboque; RMR: Reboque - Motor - Reboque; MR: Motor - Reboque.

Cabe destacar que no Anexo 2 – Frota de Trens da CPTM, encontram-se disponíveis detalhes técnicos de cada uma das séries de trens em operação.

3.4 IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS CRÍTICAS

Nem todos os sistemas presentes nos trens estão sob controle do maquinista durante a operação comercial. Quando algum sistema apresenta falha ou sinaliza problema, os equipamentos de bordo apenas informam sua ocorrência, porém sem maiores detalhes que possam proporcionar uma ação preventivista. Certas falhas se forem devidamente monitoradas poderiam ser antecipadas para antever as devidas providências, de maneira que o trem pudesse continuar operando sob controle. Dependendo da gravidade da falha e sua respectiva evolução, não há o que fazer sem o precoce monitoramento para o atendimento da área de manutenção; ou não sendo possível mediante sua indisponibilidade, a aplicação de estratégias operacionais; ambas as situações devem ocorrer em tempo hábil. A falta de recursos de telemetria *on-line* gera conseqüências sérias; como exemplo, a indisponibilidade do trem, em certas situações mais críticas, incorre na sua parada no meio do trecho com passageiros, entre estações e/ou provoca atrasos na circulação.

Também existem situações mais freqüentes como, por exemplo, o impedimento de abertura e fechamento das portas e, isso prejudica muitos usuários e a partida de trens nas estações.

Isto posto, as variáveis deverão ser monitoradas em virtude de sua importância dentro do sistema e das particularidades de cada série de trens.

3.5 SISTEMAS MONITORADOS EM TEMPO REAL

Nos itens seguintes serão apresentadas as variáveis críticas que requerem monitoramento em tempo real para efeito deste trabalho, todavia não são limitadas a esta proposição. Estes dados foram levantados, organizados e sistematizados junto às áreas de manutenção e de Engenharia com base nas informações do sistema integrado de falhas e dos relatórios de falhas. A interpretação destes dados e a respectiva compilação dos mesmos resultaram na escolha das variáveis críticas mais importantes e mínimas admissíveis para se efetuar o monitoramento dos sistemas.

As novas séries de trens oferecem diagnósticos de um grande número de variáveis quando comparadas às séries antigas, pois dispõem de sistema computadorizado e, central de apontamento de falhas e ocorrências. Em virtude desta realidade, as variáveis escolhidas para as diferentes séries de trens irão variar, em especial, com relação aos trens antigos, de maneira restrita, devido às limitações técnicas.

O monitoramento de vídeo dos carros dos trens (sistema de vídeo vigilância) é uma necessidade e, por isso, será incluído nesse estudo. Este monitoramento é de extrema importância para a segurança dos usuários e para preservar o patrimônio da Companhia.

Também será incluído um módulo de localização via satélite em cada trem.

3.5.1 Velocidade

O monitoramento da velocidade é de extrema importância para investigação de acidentes, para evitar excessos de velocidade por parte do maquinista e para detectar se há falha no sistema como um todo. Dependendo do contexto, quando um trem apresentar lentidão, isso pode significar falha de alimentação elétrica de tração, material rodante, dos sistemas de sinalização e via permanente.

Causas prováveis: Subtensão ou sobretensão na catenária; falhas do trem (motores, inversores, pantógrafo, fusíveis, disjuntores, etc.); falhas de sinalização (problemas de equipamentos de campo ou de equipamentos embarcados) e; falhas na via permanente (trilho partido ou problemas de vazamento de codificação).

Conseqüências: Degradação na circulação ou indisponibilidade do trem com perda de oferta de lugares.

3.5.2 Tensão de linha

Trata-se do sistema de alimentação principal, o monitoramento dessa variável é importante para diagnosticar possíveis falhas na infraestrutura de energia, fixo e móvel.

Causas prováveis: Perda de grupo retificador, desligamento de disjuntores ou da subestação, desconexão ou furto de cabo negativo da subestação, aparecimento de componente de Corrente Alternada (CA) na retificação em virtude de curto-circuito ou inversão de díodos no retificador, problemas no fornecimento de energia da concessionária local (subtensão ou sobretensão), má regulação do sistema de potência (regulagem de taps de transformadores entre subestações); curto-circuito

na rede aérea, desconexão por falha da chave ou chave seccionadora aberta na interligação da rede área, fuga de corrente, centelhamento no *gap* ou nos isoladores de seção, problemas mecânicos na montagem das seccionadoras ou equalização de potenciais entre segmentos de catenária, fugas de corrente para a terra; falha na via permanente (falta de *rail bonds* – cabos para interligação elétrica dos trilhos), problemas em cabos de ligação e *bonds* de impedância (filtro para isolamento de frequências entre dois circuitos de via e para continuidade do circuito de tração).

Conseqüências: Indisponibilidade dos trens com perda de oferta de lugares, desligamento do sistema de proteção interna no trem, perda de potência dos motores e diminuição de sua vida útil e dos pantógrafos e inversores do trem, diminuição da vida útil de componentes da rede aérea e das subestações, má atuação do sistema de proteção das subestações (disjuntores de tração); corrosão galvânica com comprometimento de proteção catódica de gasodutos, oleodutos, canalização de distribuição de água, corrosão de estruturas próximas da ferrovia e; degradação parcial na circulação.

3.5.3 Conversor estático auxiliar

Trata-se do sistema de alimentação auxiliar responsável por alimentar cargas, tais como, iluminação de salão e cabine, equipamentos de ar-condicionado e compressores do trem. O monitoramento é importante para manter o conforto e a segurança dos usuários e a operação normal do trem.

Causas prováveis: Anomalias no módulo de retificação, anomalias de tensão de entrada do conversor e anomalias de componentes eletrônicos do trem.

Conseqüências: Indisponibilidade do trem com perda de oferta de lugares; problemas nos sistemas de produção de ar (que alimentam pantógrafos e freios); desconforto térmico no salão; e degradação parcial da circulação.

3.5.4 Esforço trator

O monitoramento do esforço trator é realizado para informar se o trem está tracionando ou está em deriva. É importante como informação complementar da variável velocidade para diagnóstico preciso da situação do trem.

Causas prováveis: Falha no sistema de aceleração e controle de tração.

Conseqüências: Operação degradada ou indisponibilidade do trem com perda de oferta de lugares.

3.5.5 Esforço de Frenagem

O monitoramento do esforço de frenagem é realizado para informar se o trem está em frenagem ou está em deriva. É importante como informação complementar da variável velocidade para diagnóstico preciso da situação do trem.

Causas prováveis: Falha no sistema de freio e controle de frenagem.

Conseqüências: Operação degradada ou indisponibilidade do trem com perda de oferta de lugares.

3.5.6 Freio pneumático

O Monitoramento do sistema de freio pneumático é realizado para observar a pressão dos cilindros de freio e prevenir falhas que afetem a frenagem de segurança/emergência e a frenagem complementar. É de extrema importância por se tratar de monitoramento de segurança.

Causa provável: Falha no sistema de freio pneumático.

Conseqüências: Degradação de freio, risco à segurança dos passageiros, degradação da operação e indisponibilidade do trem com perda de oferta de lugares.

3.5.7 Produção de ar

O monitoramento do sistema de produção de ar é muito importante, pois dele dependem alguns sistemas vitais como compressores, suspensão secundária e pantógrafos.

Causa provável: Falha no sistema de produção de ar (vazamentos).

Conseqüências: Risco à segurança dos passageiros; degradação da operação, diminuição da vida útil dos compressores, instabilidade dinâmica da suspensão, falha no acionamento dos pantógrafos, falha de portas nos trens antigos e indisponibilidade do trem com perda de oferta de lugares.

3.5.8 Portas

O monitoramento do sistema de portas é realizado para prevenir o seu mau funcionamento, evitando seu acionamento indevido, em virtude de falhas no controle geral, impossibilitando a partida ou tração do trem.

Causas prováveis: Falha no mecanismo de acionamento da porta, falha de sinalização de porta aberta ou fechada e falha da eletrônica de controle de portas.

Conseqüências: Risco à segurança dos passageiros, degradação da operação e indisponibilidade do trem com perda de oferta de lugares.

3.5.9 Refrigeração

O monitoramento do sistema de ar condicionado é importante para garantir o conforto térmico dos usuários, evitando-se, maus súbitos.

Causas prováveis: Falha no sistema de ar condicionado.

Conseqüências: Desconforto térmico, degradação da circulação e indisponibilidade do trem com perda de oferta de lugares.

3.5.10 Vídeo vigilância

O monitoramento de vídeo dos carros dos trens é essencial para coibir roubos, agressões, mau uso dos assentos preferenciais, ambulantes, assédio sexual, vandalismo e para preservar o patrimônio da Companhia.

3.5.11 Rastreamento via satélite

O rastreamento do trem via *Global Positioning System* (GPS) é fundamental para, o sincronismo e adoção da mesma base horária em todos os trens nas informações de telemetria, e para, dentro do contexto da falha ou ocorrência operacional, em caso de pane total do CCO, possibilitar o rastreamento dos trens verificando a distância útil de segurança e a tomada de decisões e procedimentos operacionais em virtude da degradação do centro.

3.5.12 Quadro resumo da frota de trens - Variáveis a serem monitoradas.

Na Tabela 4 apresenta-se a frota de trens atualmente em operação na CPTM. Em virtude de particularidades da frota, como é o caso dos trens antigos que não dispõem de um sistema computadorizado e, central de diagnósticos, elegeu-se as variáveis críticas que deverão ser monitoradas nestas séries, para efeito deste estudo.

Isto posto, propõe-se utilizar a telemetria nos trens para monitorar suas variáveis críticas, aquisitando dados em tempo real para a gestão dos problemas e soluções, bem como gerenciar o ativo, proporcionando a melhora da manutenção e o aumento da vida útil dos equipamentos.

Tabela 4 – Frota de trens da CPTM em função das variáveis críticas que poderão ser monitorados pela telemetria – Situação abr. 2010.

Variáveis	SÉRIE DOS TRENS DA CPTM												
	1100	1400	1600	1700	2000	2000 Fase II	2100	3000	4400	5000	5500	5500 Fase II	7000
Velocidade	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tensão da Linha	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Conversor Estático Auxiliar					X	X	X	X					X
Esforço Trator					X	X	X	X					X
Esforço de Frenagem					X	X	X	X					X
Freio Pneumático	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Produção de Ar	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Portas					X	X	X	X					X
Refrigeração					X	X	X	X					X
Vídeo vigilância	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
GPS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

	Trens antigos ou que sofreram remodelação e atualização tecnológica
	Trens modernos com tecnologia de última geração

Assim sendo, destaca-se a necessidade da implementação do monitoramento de variáveis específicas, em virtude da importância que cada uma delas apresenta para setores estratégicos da empresa, como Operação e Manutenção. Para melhora geral dos índices de desempenho do Material Rodante, faz-se necessário o monitoramento em tempo real dessas variáveis específicas.

4. SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS SEM FIO

Neste capítulo será apresentada a evolução das tecnologias disponíveis no mercado quanto à transmissão de dados sem fio descrevendo, em síntese, as particularidades de cada uma delas, efetuando-se a comparação daquelas que atendem os requisitos de transmissão em banda larga, a fim de proporcionar a escolha do sistema para utilização neste estudo e as respectivas considerações desta escolha.

Na Figura 3 é apresentada as diversas tecnologias disponíveis para transmissão de dados sem fio existente no mercado atual.

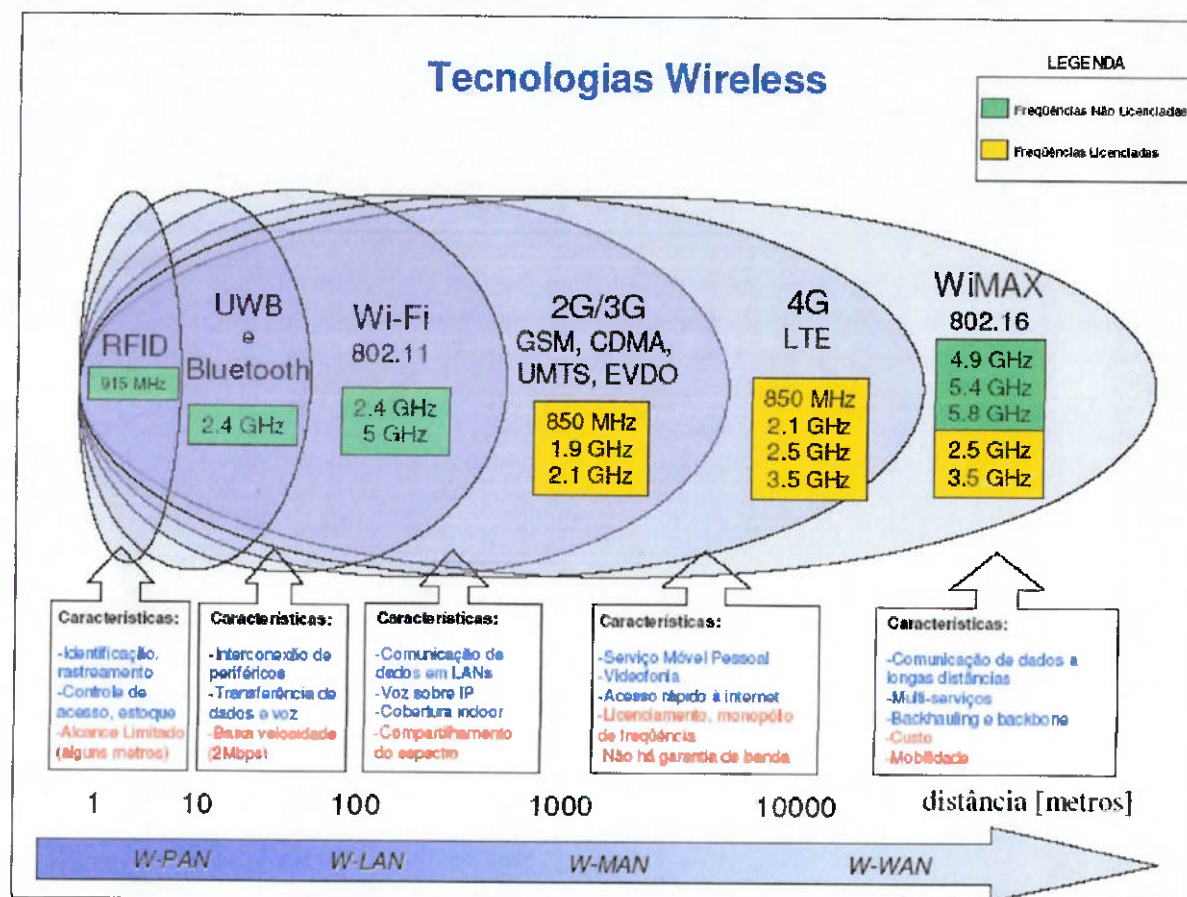


Figura 3 – Tecnologias *wireless* – Extraída do Guia Técnico Inatel – Guia das Cidades Digitais – Módulo 2: Tecnologia WiMAX (2009) – Fonte: site Guia das Cidades Digitais.

Segundo o *INATEL COMPETENCE CENTER*⁴ (2009), a tecnologia de transmissão sem fio (*wireless*), basicamente se dividem em quatro tipos:

⁴ Fonte: site do Guia das Cidades Digitais que disponibiliza o Guia Técnico Inatel – Guia das Cidades Digitais – Módulo 2: Tecnologia WiMAX..

- *Wireless Personal Area Network (W-PAN)*: são as redes pessoais, com uma área de cobertura para pequenas distâncias, baixas taxas de transferência para interação de dispositivos móveis de um utilizador (exemplo: *Bluetooth*).
- *Wireless Local Area Network (W-LAN)*: são as redes locais, que atingem uma área geográfica limitada, com grande largura de banda, confiabilidade e disponibilidade (exemplo: *Wireless Fidelity (Wi-Fi)*).
- *Wireless Metropolitan Area Network (W-MAN)*: são as redes metropolitanas, com a finalidade principal de *backhauling*, ou seja, interconexão da rede. Atinge velocidades consideráveis a boas distâncias, e servem para conectar *Local Area Network (LAN)*. (exemplos: celulares tecnologia 2G, 3G, e sistemas de transmissão WiMAX).
- *Wireless Wide Area Network (W-WAN)*: são as redes de longa distância, que atingem grandes áreas geográficas, num enlace ponto a ponto, a fim de interconectar cidades ou MAN. São os chamados *backbones* das redes. (exemplos: tecnologia 4G LTE e sistemas de transmissão WiMAX).

O WiMAX pode ser classificado com W-WAN, mas não é exclusivamente ponto a ponto. Ele pode operar na W-LAN (como *hotspot*), na W-MAN (como *backhaul*) ou na W-WAN (como *backbone*).

4.1 TECNOLOGIA DE ALTA CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO DE DADOS SEM FIO

Um ponto importante para entender o que significa transmissão de dados em banda larga foi explicado segundo Frauendorf (2010). Atualmente a alocação de frequências sofreu mudanças com relação à divisão do espectro; antes em canais de 1,25 MHz, ideais para a transmissão de voz, que passou para 5 MHz visando à transmissão de dados, tendo por consequência a inviabilidade das tecnologias tradicionais. A voz necessita de pouca banda e sua transmissão possui um tráfego simétrico (falar e ouvir), gerando um pequeno volume de informações durante uma chamada, ao contrário com relação à transmissão de dados que ocorre de forma assimétrica e, geralmente, um usuário recebe mais informação do que envia. Mas a maior diferença está na banda utilizada para a transmissão da informação, pois o tráfego de voz é da ordem de 64 Kbps o de dados em alta velocidade é de, pelo menos, 1 Mbps, ou seja, quase que dezesseis vezes maior, sendo necessário canais largos e sistemas mais eficientes. A eficiência da transmissão é avaliada pela

Eficiência Espectral, ou seja, o quanto de informação que se consegue transmitir em 1 Hz do espectro de frequência. Ainda segundo Frauendorf (2010), o valor máximo demonstrado pelo teorema de Shannon é de 5 b/Hz, ou seja, 5 informações por 1 Hz. A TV digital transmite cerca de 3 b/Hz, enquanto a tecnologia 3G não chega a 1 b/Hz (geralmente é próxima de 0,6 b/Hz). A tecnologia 4G opera com eficiência espectral acima dos 2,5 b/Hz, ou seja, quatro vezes mais eficientes que as atuais redes 3G, portanto de alta capacidade de transmissão de dados.

Para se entender a evolução das tecnologias 3G e 4G, é necessário compreender o porquê dessa necessidade por taxas de transmissão maiores. Para isso, é importante observar a Figura 4, e analisar a cronologia dessa evolução.

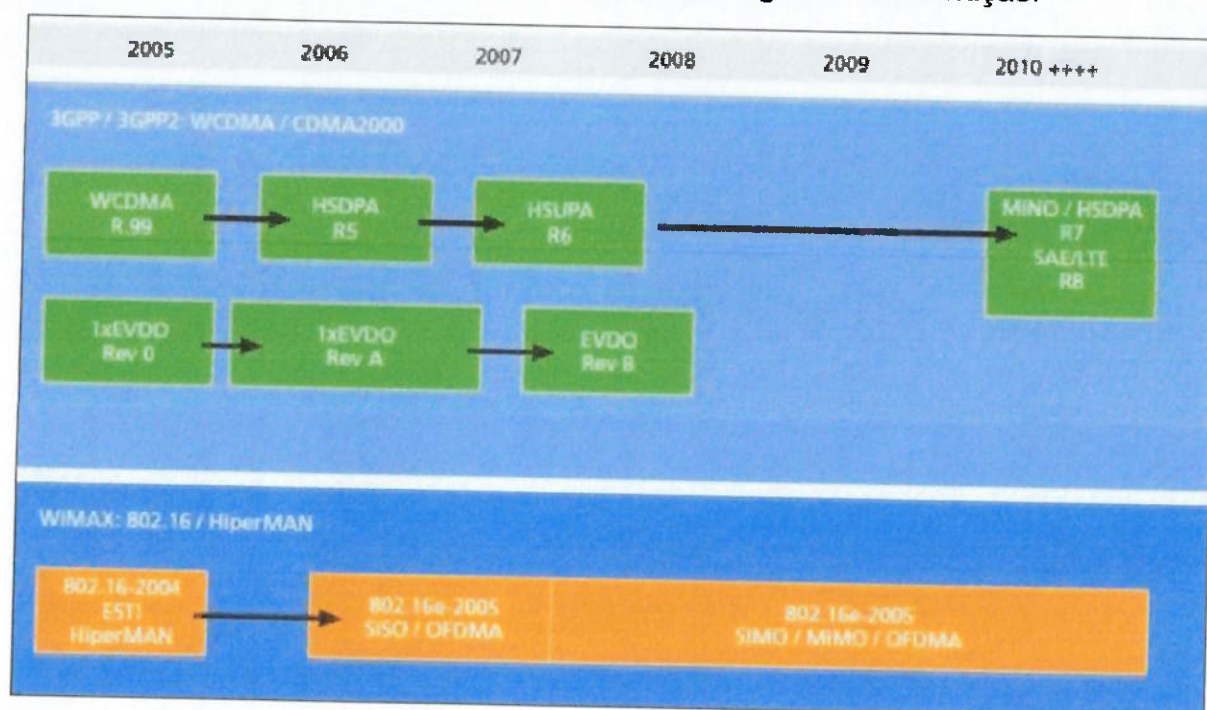


Figura 4 – Comparação e cronologia do desenvolvimento das diferentes tecnologias 3G e WiMAX atualmente disponíveis. Fonte: Paper Comparing Mobile WiMAX, 3G and Beyond (2007).

Atualmente o conjunto de tecnologias de alta capacidade para transmissão de dados concentra-se, principalmente, nas diferentes opções 3rd Generation – cellular technologies (3G), destacando-se 1 X Evolution Data Optimized (1xEVDO), High Speed Download Packet Access (HSDPA)/High Speed Upload Packet Access (HSUPA), Code Division Multiple Access (CDMA), Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA), 3G com redes baseadas em Frequency Division Duplex (FDD) e nas tecnologias 4rd Generation (4G), Wireless Interoperability for Microwave Access (WiMAX) e o futuro 3rd Generation Partnership Program – Long Term Evolution (3GPP-LTE).

4.2 TECNOLOGIAS 3G

Boa parte do desenvolvimento deste item tem por base os *papers Comparing Mobile WiMAX, 3G and Beyond* da empresa Alvarion LTD (2) (2007, tradução nossa) e o *WiMAX™, HSPA+, and LTE: A Comparative Analysis – WiMAX FORUM* (GRAY, 2009, tradução nossa), informações extraída do site WIKIPÉDIA e a consulta ao livro *Fundamentals of WiMAX Understanding Broadband Wireless Networking* (Andrews; Ghosh; Muhamed, 2007, tradução nossa).

Algo que necessita-se frisar no caso da tecnologia 3G é que ela foi otimizada especificamente para transmissões de voz. Em virtude da necessidade de mercado de transmissão de dados em banda larga, a tecnologia foi adaptada. Para se entender o exposto é importante descrever como se deu a evolução desta tecnologia. A Figura 5 ilustra esse desenvolvimento.

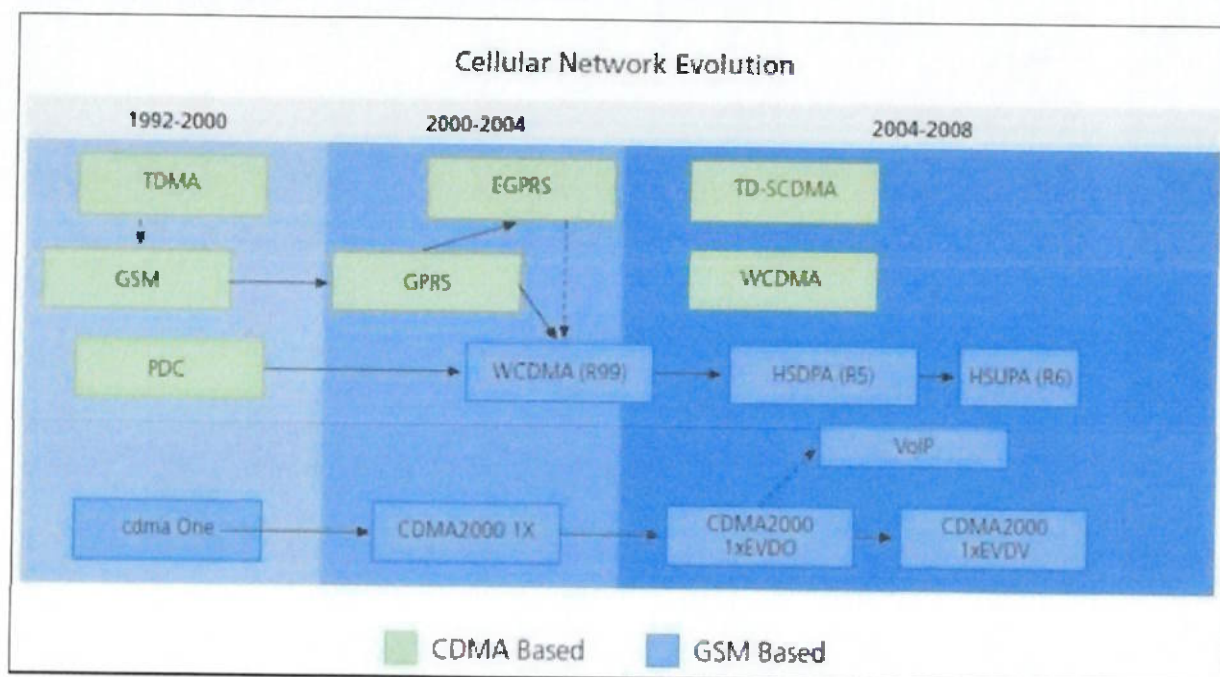


Figura 5 – Evolução da rede celular. Fonte: *Paper Comparing Mobile WiMAX, 3G and Beyond* (2007).

Toda essa evolução partiu da geração *1rd Generation – cellular technologies* (1G), cujo celulares eram analógicos, enviavam informações de voz com baixa qualidade e altamente suscetíveis a interferências.

Com a chegada da segunda geração ou *2rd Generation – cellular technologies* (2G) estabeleceu-se a mudança da telefonia móvel para digital. Com isso possibilitou um aumento do número de ligações simultâneas em um mesmo espectro de frequência, introduzindo protocolos de telefonia digital, integrando outros serviços no mesmo sinal, como o envio de mensagens *Short Message Service* (SMS) e aumentou a

capacidade de transmissão de dados entre equipamentos (fax e modem). Assim, surgiram vários protocolos que foram desenvolvidos pelas empresas, no entanto incompatíveis entre si e isso limitou seu uso. Os principais protocolos que surgiram foram o *Global System for Mobile* (GSM), o *Time Division Multiple Access* (TDMA) e *Code Division Multiple Access* (CDMA). Cronologicamente sob o aspecto da evolução destacam-se os seguintes protocolos:

- GSM: é um padrão aberto desenvolvido pela *3rd Generation Partnership Program* (3GPP), com a desvantagem de ser baseado na rede TDMA, que é considerada menos avançada que a concorrente CDMA. A continuidade do seu desenvolvimento estabeleceu o lançamento do sistema *General Packet Radio Service* (GPRS) e, além disso, a transmissão de dados em alta velocidade foi adicionada no novo esquema de modulação *Enhanced Data rates for GSM Evolution* (EDGE) que contribui para o aumento dos índices de transmissão de dados. Isso acabou classificando-o como padrão 3G.
- CDMA: O CDMA foi também tido como o princípio da interface aérea que deu origem ao padrão *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA), estabelecendo-se a terceira geração de celulares ou 3G. Todavia, os padrões cdmaOne e CDMA2000 não são compatíveis com o padrão WCDMA. Outra importante contribuição do padrão CDMA, antes mesmo de seu uso na telefonia celular é o *Global Positioning System* (GPS). Sua principal particularidade é que a tecnologia proporcionou um conjunto de serviços inovadores e uma velocidade de transmissão maior para aplicações interativas de áudio, vídeo e imagem, além de transmissão de voz.

Antes mesmo de consolidar o padrão 3G, houve uma fase intermediária entre as tecnologias 2G e 3G. Esta fase foi caracterizada pela disponibilização de serviços de transmissão de banda larga por meio da telefonia móvel no padrão GSM, usando a tecnologia EDGE e, no padrão CDMA, usando a tecnologia *1 times Radio Transmission Technology* (1xRTT). Com o advento das tecnologias 3G estabeleceram-se sistemas com maior capacidade, em virtude de uma melhora na eficiência espectral, suportando um número maior de usuários de voz e dados. Estas tecnologias evoluíram de forma a incorporar redes de acesso à *Internet* em alta velocidade, videoconferência e multimídia. As transmissões de dados e voz a longas distâncias, em ambientes móveis, permitiram transmissões em torno de 384 Kbps e para sistemas fixos 7 Mbps. A *International Telecommunication Union* (UIT) definiu a

demanda para redes móveis 3G com o padrão *International Mobile Telecommunications-2000* (IMT-2000). A organização 3GPP continuou esse trabalho definindo um sistema móvel compatível com o padrão IMT-2000, o qual foi chamado de *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS). Os principais protocolos que surgiram com o padrão IMT-2000 foram o WCDMA e o CDMA2000 com suas respectivas evoluções 1xCDMA2000, *Evolution Data Optimized* (EVDO) e *Evolution Data Voice* (EVDV). A seguir se encontram descritos os principais aspectos da evolução desses protocolos:

- **WCDMA:** É adotado como padrão pelo UIT chamado de "IMT-2000 *direct spread*", tido como líder da tecnologia 3G e é utilizado pela UMTS. Considerada como uma tecnologia de interface de rádio de banda larga, que provê velocidades de dados muito superiores, até 2 Mbps, que permite o uso mais eficiente do espectro de rádio, quando comparado a outras técnicas de rádio disponíveis atualmente. Estes sistemas WCDMA foram projetados e habilitam uma nova geração de serviços de multimídia que demandam grande largura de banda, por exemplo, serviços de *Internet* móvel que misturam diferentes elementos de mídia, incluindo voz, vídeo, som digital, imagens e animações. Estes serviços serão acessados pelos usuários por meio de uma grande variedade de aparelhos, incluindo telefones móveis, PDAs, *palmpilots* e *laptops*. Segundo o Alvarion LTD (2) (2007, p. 7, tradução nossa), o WCDMA utiliza o *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) para espalhar o sinal em um espectro de 5 MHz. É baseado em 3GPP Release 99 e oferece taxas de dados de 384 Kbps para uma grande área de cobertura e para as áreas de grande atividade e entretenimento até 2 Mbps. Além do uso de códigos de expansão ortogonais, ela utiliza o chaveamento de mudança de fase em *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) para sua modulação.
- Segundo Gray (2009, tradução nossa), o *High Speed Packet Access* (HSPA) é um conjunto de dois protocolos de telefonia móvel *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) e *High Speed Uplink Packet Access* (HSUPA), que ampliam e melhoram o desempenho dos protocolos existentes do WCDMA. Hoje já existe a HSPA+, que melhora ainda mais o desempenho dos protocolos WCDMA. Proporciona velocidades de até 35 Mbps no *download*.

Vantagem:

- ✓ Não necessita de recursos de infraestrutura, o serviço é disponibilizado por meio de contratos de prestação de serviços firmado com as operadoras locais de telefonia celular.

Desvantagem:

- ✓ Devido à necessidade de contratação dos serviços junto às operadoras, existe uma relação de dependência para estes serviços, pois os contratos são por tempo determinado e estão sujeitos aos preços praticados pelo mercado.

O HSDPA proporciona velocidade máxima de 14,4 Mbps para a realização de *download* e o HSUPA permite velocidade de *upload* máxima de 5,76 Mbps. Segundo o Alvarion LTD (2) (2007, p. 8, tradução nossa), o 3GPP Rel-5 estende a especificação WCDMA com acesso de alta velocidade para *downlink* do pacote (HSDPA). HSDPA inclui funcionalidades avançadas, tais como, *Adaptive Modulation and Coding* (AMC), pedido automático híbrido de repetição *Hybrid Automatic Retransmission Request* (HARQ), arquitetura e programação descentralizada.

- CDMA2000: O CDMA2000 representa uma família de tecnologias que inclui segundo o Alvarion LTD (2) (2007, p. 7, tradução nossa):
 - ✓ CDMA 1X que possibilita dobrar a capacidade de transmissão de voz das redes cdmaOne, com velocidade de transmissão de pacotes de dados em picos de 307 Kbps na condição de móvel.
 - ✓ CDMA2000 1xEV inclui:
 - CDMA2000 1xEVDO é sistema um transmissão de dados de alta velocidade, somente em canais de 1,25 MHz *Frequency Division Duplex* (FDD) em picos de velocidade de 2,4 Mbps suportando aplicações, tais como, transferências de MP3 e videoconferência.
 - CDMA2000 1xEVDV oferece serviços integrados de voz e simultaneamente transmissão de pacotes de dados de multimídia em alta velocidade com velocidades de até 3,09 Mbps.

Na Tabela 5 se apresenta a comparação das capacidades teóricas entre os sistemas CDMA e WCDMA.

Tabela 5 – Comparação das capacidades teóricas dos sistemas CDMA e WCDMA – Fonte: *Paper Comparing Mobile WiMAX, 3G and Beyond* – Fonte: Alvarion LTD (2) (2007, tradução nossa).

Família	Tecnologia	Teórico <i>Throughput</i>	
		Link de Envio (Kbps)	Link de Retorno (Kbps)
CDMA	1 x 1,25 MHz	614	614
	1 x EV-DO Ver. 0 (1,25MHz)	2.458	153
	1 x EV-DO Ver. 0 (1,25MHz)	3.072	1.800
	1 x EV-DO Ver. 0 (1,25MHz)	14.745	5.400
WCDMA	GPRS (200 KHz)	163	163
	EDGE (200 KHz)	474	474
	WCDMA Rel. 99	2.688	2.304
	HSDPA Rel. 5 (5 MHz)	14.400	2.300
	HSUPA Rel. 5 (5 MHz)	14.400	5.000

4.3 TECNOLOGIAS 4G

O desenvolvimento deste item e dos respectivos subitens tem por base os *papers Comparing Mobile WiMAX, 3G and Beyond* da empresa Alvarion LTD (2) (2007, tradução nossa) e o *WiMAX™, HSPA+, and LTE: A Comparative Analysis – WiMAX FORUM* (GRAY, 2009, tradução nossa).

Atualmente são classificadas como tecnologias de quarta geração, das quais duas tecnologias são as mais exploradas na indústria: WiMAX e *Long Term Evolution* (LTE), sendo esta última baseada na evolução do padrão 3G.

Algo que se necessita frisar como ponto importante da tecnologia WiMAX é que a sua base não tem como conceito a evolução a partir de sistemas de voz, portanto, não pode ser considerada evolução dos padrões de telefonia celular 3G e suas variantes. Seu conceito tem como base, as redes móveis em banda larga com evolução de acesso aos dados em dispositivos que operam utilizando *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP).

4.3.1 WiMAX

O padrão IEEE 802.16 (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2009) aplicável à *Worldwide Interoperability for Microwave* (WiMAX) especifica uma interface sem fio para redes metropolitanas. Este padrão é similar ao padrão IEEE 802.11 *Wireless Fidelity* (Wi-Fi), que já é bastante difundido, porém agrega conhecimentos e recursos mais recentes, visando melhor desempenho de comunicação. O padrão WiMAX tem como objetivo, estabelecer a parte final da infraestrutura de conexão de banda larga, oferecendo conectividade para uso doméstico, empresarial e em pontos de acesso públicos ou privados.

A rede WiMAX atualmente possui dois padrões:

- Nomádico IEEE 802.16d: é o padrão fixo de acesso sem fio de banda larga;
- Móvel IEEE 802.16e: é o padrão de acesso móvel sem fio de banda larga – assegurando conectividade em velocidades de até 120 km/h, cujos equipamentos já estão disponíveis no mercado.

As transmissões de dados podem chegar a 1 Gbps a uma distância de até 50 km (radial), com estudos científicos para se chegar a 10 Gbps, porém, na prática, mesmo em condições ideais, esse valor teórico não é atingido.

Vantagens:

- Diminui custos de infraestrutura de banda larga para conexão com o usuário final se comparado com as conexões via cabo;
- Possibilita altas taxas de transmissão de dados;
- Possibilita a criação de uma rede de cobertura similar à da rede celular, permitindo acesso à *Internet* mesmo em movimento;
- Amplo suporte de desenvolvimento e aprimoramento por parte da indústria;
- Interoperabilidade com outras tecnologias, por meio do protocolo IP;
- *Adaptive Modulation and Coding (AMC)*: A modulação adaptativa seleciona a mais alta taxa de dados consistentes com a taxa de erro requerida, portanto, a negociação fora da capacidade de qualidade de serviço (ALVARION LTD (2) 2007, p. 6, tradução nossa);
- Imunidade a Interferência com o *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*: A IEEE 802.16e permite mais flexibilidade na gestão de diferentes dispositivos de usuário com uma variedade de tipos de antenas e fatores de forma. Ela reduz a interferência de dispositivos de usuário com antenas omnidirecionais e melhora a capacidade *Non-Line-Of-Sight (NLOS)* que são essenciais no apoio à assinantes móveis (ALVARION LTD (2) 2007, p. 3, tradução nossa);
- Canal da largura da banda escalável: WiMAX móvel emprega OFDMA escalável o *Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing (SOFDMA)* para permitir a largura do canal escaláveis de 1,25 a 20 MHz (ALVARION LTD (2) 2007, p. 4, tradução nossa);
- *Advanced Antenna System (AAS)*: Sistema inteligente de antena que permite uma ampla gama de tecnologias avançadas, tais como *Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)*, a formação de feixe, o espaço-tempo de codificação e

multiplexagem espacial. Para serviços baseados em IP, a utilização de um canal de *Time Division Duplexing* (TDD) para o *uplink* e *downlink*, combinado com instalações de modulação OFDMA, torna substancialmente menos complexo e mais eficiente para a implementação MIMO e *beamforming* em redes WiMAX móveis do que nas redes baseadas em CDMA. O MIMO e o *beamforming* melhoraram significativamente a taxa de transferência em redes WiMAX baseada em TDD (ALVARION LTD (2) 2007, p. 5, tradução nossa).

Desvantagem:

- Nas faixas de frequência mais altas existem limitações relativas a interferências pela chuva, causando diminuição de taxas de transferências e dos raios de cobertura.

4.3.2 LTE

O *Long Term Evolution* (LTE) (acrônimo termo em português: Evolução de Longo Prazo) é a evolução do WCDMA. Esta nova tecnologia de rádio permitirá *download* em velocidades de até 100 Mbps e *upload* em velocidades de até 50 Mbps. O LTE incorpora o *Multiple In Multiple Out* (MIMO), em combinação com *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) no *downlink* e *Single Carrier Frequency Division Multiple Access SC-FDMA* no *uplink* para fornecer níveis elevados de eficiência de espectro e taxas superiores a 100 Mbps ao utilizador final. Também traz importantes melhorias em termos de capacidade e redução na latência. O LTE suportará frequências de 1,25 MHz a 20 MHz, ambas em operação *Frequency Division Duplex* (FDD) e *Time Division Duplexing* (TDD).

O LTE e o WiMAX utilizam interface aérea OFDMA, o LTE tem a vantagem de ser compatível com os recursos existentes nas redes HSPA e GSM, permitindo que os operadores móveis LTE possam continuar a prestação de serviço sem descontinuidade entre a rede LTE e as redes existentes.

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS HSPA (3G), WiMAX MÓVEL E LTE (4G)

O desenvolvimento deste item/subitens tem por base o *paper WiMAX™, HSPA+, and LTE: A Comparative Analysis – WiMAX FORUM* (GRAY, 2009, tradução nossa).

4.4.1 WiMAX versus HSPA+

No mais recente artigo publicado pelo WiMAX Fórum, realizou-se uma comparação detalhada da Interface WiMAX Air configurada em R1.0 com o lançamento do 3GPP usando HSPA Rel-6. Esta análise mostrou que a tecnologia WiMAX apresenta maiores taxas de *downlink* e *uplink* e um rendimento médio setorial de duas a três vezes maior que o HSPA Rel-6. A análise do rendimento foi baseada em simulações que seguiram a metodologia recomendada 1xEV-DV.

A Tabela 6 apresenta a comparação das taxas entre HSPA+ e WiMAX Air para a interface R1.5.

Tabela 6 – Comparação de desempenho entre WiMAX e HSPA+ – Fonte: (GRAY, 2009, p. 18).

Parameter	HSPA		WiMAX Air Interface R1.5	
	Rel-7	Rel-8	FDD	TDD
Duplexing	FDD		FDD	TDD
Channel BW	2 X 5 MHz		2 X 5 MHz	10 MHz
BS Antena	(1X2) SIMO	(2X2) MIMO	(2X2) MIMO	
MS Antena	(1X2) SIMO		(1X2) SIMO	
DL Mod-Coding	64QAM-5/6	16QAM-3/4	64QAM-5/6	64QAM-5/6
DL Peak User Rate	17,5 Mbps (21 Mbps w/o coding)	21 Mbps (28 Mbps w/o coding)	35 Mbps (42 Mbps w/o coding)	35,3 Mbps 39,9 Mbps ⁵
UL Mod-Coding	16QAM-3/4		64QAM-5/6	64QAM-5/6

As projeções das taxas para HSPA+ são estabelecidas com codificação 3/4 e 5/6 para 16QAM e 64QAM, respectivamente. Isso representa um cenário mais realista e habilita a comparação com o WiMAX. Para prover uma comparação direta, uma solução em WiMAX Air R1.5, o FDD utiliza canais em 5 MHz. Também foram incluídas soluções WiMAX TDD com a mesma taxa de ocupação do espectro.

Como esperado, os picos de *downlink* para o HSPA+ e para o WiMAX são similares desde que ambos sejam baseados na mesma modulação/codificação e assumam atribuições de espectros comparáveis de 10 MHz. A diferença no *uplink* é atribuída às diferentes eficiências de modulação para 16QAM (HSPA+) versus 64QAM e uma diferença na taxa de codificação. O pico de *downlink* e *uplink* para WiMAX com TDD é mostrado usando uma relação de *downlink* para *uplink* de aproximadamente 3:2. A Tabela 7 refere-se a uma taxa pico de usuário e não a taxa do canal.

⁵ Assume em DL a relação de UL ~ 3:2

Tabela 7 – Comparação das taxas de pico de UL por usuário – Fonte: (GRAY, 2009, p. 19).

Parameter	HSPA		WiMAX Air Interface R1.5	
	Rel-7	Rel-8		
UL Peak User Rate	8,3 Mbps (11 Mbps w/o coding)		17,3 Mbps	11,5 Mbps ⁶

Para uma análise comparativa mais completa entre HSPA+ e WiMAX, outros fatores de desempenho devem ser levados em consideração. A tecnologia WiMAX tem muitos outros atributos que a diferencia do HSPA+. São eles:

- Tanto a interface WiMAX Air R1.0 quanto a R1.5 tem eficiência espectral média maior que o HSPA Rel-8, desde que o aprimoramento (2x2) MIMO do CDMA esteja sendo usado e forneça um pequeno aumento de aproximadamente 20% na eficiência espectral, o OFDMA provê um aumento de 60%;
- A interface WiMAX Air R1.0 suporta canais de até 10 MHz e a R1.5 de até 20 MHz, enquanto que a HSPA+ fica restrita a 5 MHz para continuar compatível com os atributos de espectro 3G WCDMA existentes. O 3GPP Rel-8 suporta a adição de 2 canais de 5 MHz adjacentes e o 3GPP Rel-9 não necessita que os canais sejam adjacentes, mas o HSPA ainda usa 2x (5 MHz);
- O WiMAX é baseado em redes com arquitetura IP. Embora o HSPA+ também utilize redes IP ele ainda obedece às normas de redes otimizadas para voz;
- O HSPA+ ainda é baseado no CDMA com suas limitações intrínsecas, enquanto que o WiMAX é baseado em OFDMA com vantagens para:
 - ✓ Alta tolerância a multi-meios e a auto-interferência;
 - ✓ Canal BW escalonável;
 - ✓ Acesso múltiplo a *uplink* ortogonal para reduzir interferência entre múltiplos usuários;
 - ✓ Programação seletiva de frequência;
 - ✓ Taxa de reuso fracionada.

Na Figura 6 e na Figura 7 apresenta-se o aprimoramento (4x2) MIMO também suportado pelo WiMAX Air R1.5 que provê aumentos maiores na eficiência espectral média.

⁶ Assume em DL a relação de UL ~ 3:2

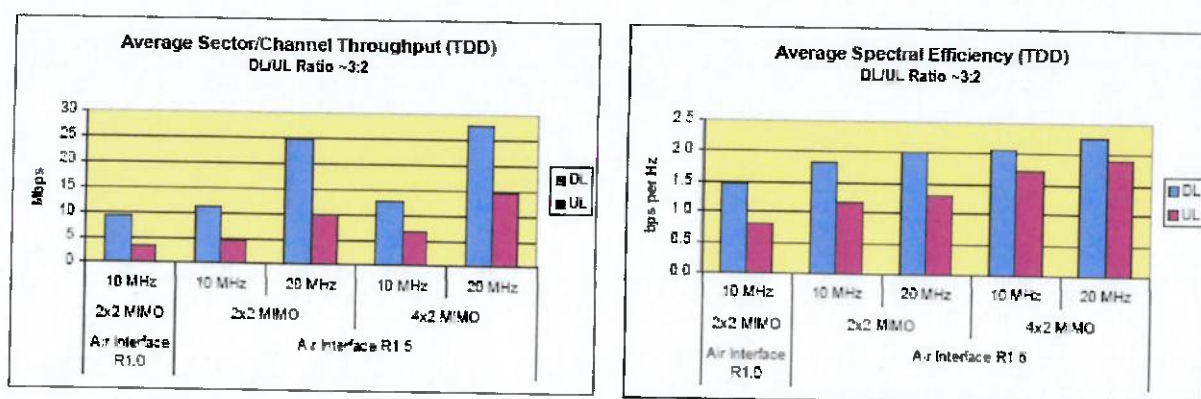


Figura 6 – Canal médio (perfil TDD) – Fonte: (GRAY, 2009, p. 15, tradução nossa).

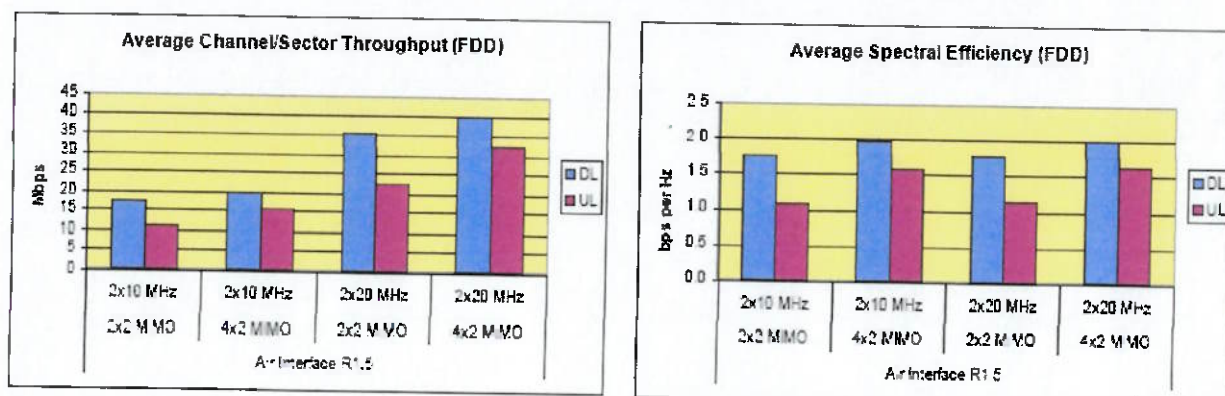


Figura 7 – Canal médio (perfil FDD) – Fonte: (GRAY, 2009, p. 15).

Embora o HSPA+ aumente a performance das operadoras de WCDMA 3G por meio do HSPA Rel-6 e forneça performance em *downlink* próxima a do WiMAX e LTE, o WiMAX hoje oferece a possibilidade de a operadora sobrepor uma rede existente com uma rede de acesso de próxima geração baseada em OFDMA.

4.4.2 WiMAX versus LTE

As projeções de performance para o LTE, freqüentemente citadas no domínio público, consideram *Frequency Division Duplexing* (FDD) em canais de 20 MHz pareados, apesar do fato de as alocações de espectro que suportam canais de 20 MHz pareados serem muito limitadas.

Para apresentar uma comparação direta entre o LTE e o WiMAX com canais de 20 MHz pareados foram consideradas ambas as redes em FDD.

Os picos das taxas de dados para o LTE são usualmente reportados sem codificação para correção de erro.

Na Tabela 8 é apresentado a comparação tipo de modulação entre o LTE e o WiMAX Air Interface R1.5.

Tabela 8 – Comparação entre LTE e WiMAX – Fonte: (GRAY, 2009, p. 21).

	LTE	WiMAX Air Interface R1.5
Duplex	FDD	FDD
Channel BW	2 X 20 MHz	2 X 20 MHz
BS Antena	(2X2) MIMO	(2X2) MIMO
DL Modulation	64QAM	64QAM
DL Coding	5/6	5/6

Na Tabela 9 apresenta-se uma comparação das taxas de pico por usuário entre o LTE e o WiMAX que com suporte a multiplexação espacial colaborativa, o WiMAX atinge taxas de dados de 138,2 Mbps para o canal de uplink, conforme mostrado. O pico de taxa para um usuário em uplink para o WiMAX seria de 69,1 Mbps sem esse suporte.

Tabela 9 – Comparação de taxas de pico entre LTE e WiMAX – Fonte: (GRAY, 2009, p. 22).

	LTE		WiMAX Air Interface R1.5	
DL Peak Channel Rate	144,0 Mbps (172,8 Mbps w/o coding)		144,4 Mbps (173,3 Mbps w/o coding)	
MS Antena	(1X2) SIMO		(1X2) SIMO	
UL Modulation	16QAM	64QAM	16QAM	64QAM
UL Coding	3/4	5/6	3/4	5/6
DL Peak Channel Rate	43,2 Mbps (57,6 Mbps w/o coding)	72,0 Mbps (86,4 Mbps w/o coding)	82,9 Mbps (110,6 Mbps w/o coding)	138,2 Mbps (165,8 Mbps w/o coding)

Na Figura 8 é apresentado um sumário das comparações de eficiência espectral média entre LTE e WiMAX.

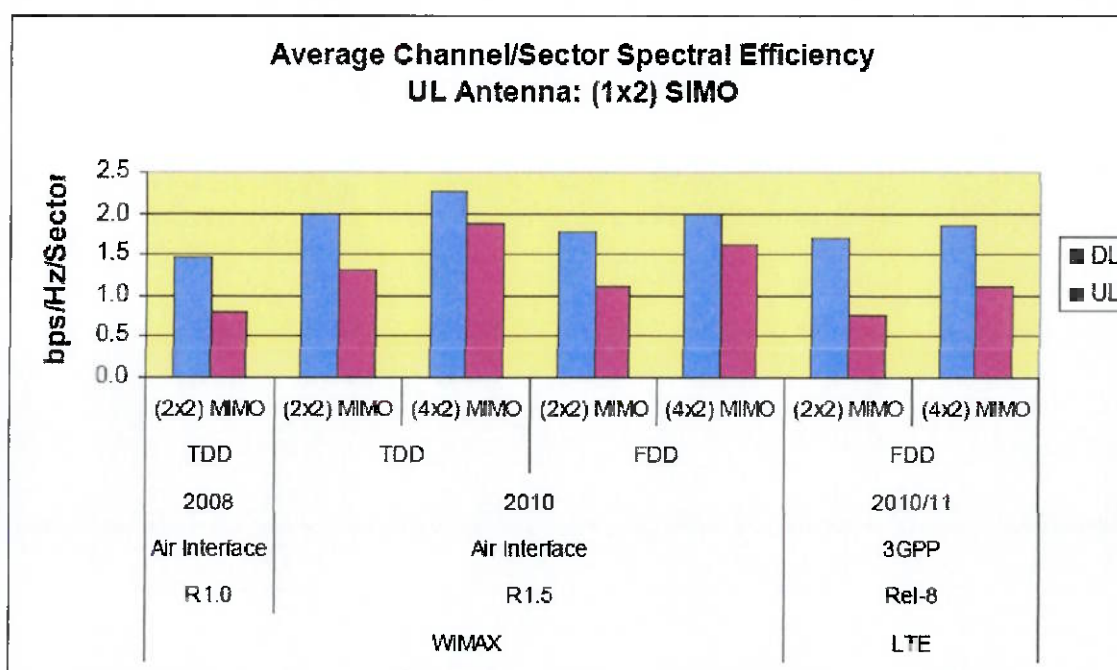


Figura 8 – Comparação de eficiência espectral LTE x WiMAX – Fonte: (GRAY, 2009, p. 23).

Para o LTE, assume-se FDD com canais de 20 MHz pareados. Para fornecer uma análise mais completa, a Figura 8 inclui diversas opções de implantação. Uma interface WiMAX Air R1.0 com *Bandwidth (BW)* em canal de 10 MHz, permuta *Partially Used Sub-Channel (PUSC)* para mobilidade mista e uma relação de *downlink* para *uplink* de aproximadamente 3:2. Esta configuração foi usada para fornecer uma idéia do que existe no mercado desde o ano de 2008. Os resultados das simulações em FDD para WiMAX Air R1.5 são baseados em canais pareados de 20 MHz para fornecer uma comparação de performance com o LTE de um para um. A simulação para a interface TDD Air R1.5 assume canais únicos de 20 MHz com uma relação de 3:2 de *downlink* para *uplink*. Ambos, WiMAX Air R1.5 e LTE atendem os requerimentos de eficiência espectral média enunciados para o LTE em 3GPP Rel-8.

Como esperado, uma vez que os parâmetros das tecnologias que antecederam o WiMAX e o LTE são muito similares aos parâmetros das tecnologias atuais, os valores das variáveis de desempenho são comparáveis quando consideramos as mesmas configurações para a estação base e para a estação móvel.

Embora as tecnologias adotadas para o WiMAX e para o LTE tenham muito em comum, existem algumas diferenças, das quais destacam-se:

- Os resultados reportados para as simulações assumem 2.000 MHz, enquanto que as simulações de WiMAX são realizadas em 2.500 MHz para refletir a performance na extensão da banda IMT, 2.500-2.690 MHz. Esta diferença de frequência resultará em maiores perdas no meio para o WiMAX. Embora as simulações não tenham sido realizadas para quantificar precisamente as diferenças entre 2.000 MHz e 2.500 MHz, é razoável esperar que este resultado mostre uma ligeira vantagem para o LTE levando-se em conta os valores de eficiência espectral média;
- O LTE usa *Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)*, no *uplink*, enquanto que o WiMAX usa OFDMA: com SC-FDMA as Transformadas de *Fourier* (tanto a “Rápida” quanto a “Rápida Inversa”) são usadas no transmissor e no receptor. Com OFDMA, a Transformada Rápida de *Fourier* é aplicada no lado do receptor e a Inversa no lado do transmissor. A natureza de portadora única do SC-FDMA tem potencial para um pico menor de taxa de potência média, porém, por outro lado, fornece aprimoramento no *uplink* similar ao OFDMA;

- O tamanho da janela LTE é 1 ms versus 5 ms do WiMAX: o menor tamanho da janela pode ser traduzido em menor latência, porém, com o custo de uma maior sobrecarga. O WiMAX 2 (futura evolução) introduzirá o conceito de subjanelas para aplicações sensíveis à latência.

4.5 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DA TECNOLOGIA WIMAX

Como conclusão de toda a análise efetuada, considerando o exposto no item 4.4 desse trabalho e levando-se em consideração as particularidades da concepção do projeto para a CPTM, escolheu-se a tecnologia WiMAX, baseando-se nas seguintes considerações:

- A tecnologia 4G com WiMAX móvel já é uma realidade;
- O LTE ainda se encontra em fase de desenvolvimento/testes e a comparação entre o LTE e o WiMAX ainda é feita com ressalvas. No momento, somente é possível comparar, de forma segura, o WiMAX com o padrão 3G;
- Não é interessante para uma empresa pública depender de serviços particulares regidos pelo mercado, principalmente pelo fato do serviço compreender o transporte de informações de segurança;
- O custo inicial para implantação do sistema e da infraestrutura é relativamente alto quando comparado à compra de pacotes de dados 3G das operadoras existentes, porém, a médio e longo prazo, estes custos se tornam baixos, além disso, a capacidade do sistema 3G não nos atenderia;
- A adoção do sistema WiMAX móvel, baseado em protocolo IP promove e certifica a compatibilidade e interoperabilidade dos produtos de banda larga sem fio existentes na Companhia.

Não se pode deixar de mencionar o motivo pelo qual se escolheu um sistema de alta capacidade para transmitir dados de telemetria que podem ser transmitidos por sistemas de menor capacidade. A resposta está na necessidade de se incluir, além dos dados de telemetria, a transmissão simultânea de imagens de até quatro câmeras por trem e, também, de dados de posicionamento global por meio de equipamento GPS. Atualmente, a CPTM possui cerca de 1.000 carros, considerando a operação diária com cerca de 90% da frota teremos a captura de imagem de 900 carros, portanto serão 3.600 pontos de captura e de transmissão de pacotes de imagem.

4.5.1 Contribuições do uso de rede WiMAX para a Companhia

Além da aplicação nos sistemas de telemetria, dentre as várias contribuições que essa rede WiMAX trará para a CPTM, será oferecer a possibilidade de integração de seus vários sistemas existentes, destacando-se:

- Implantação do sistema de vídeo vigilância ao longo de todo o leito ferroviário, com objetivo de aumentar a segurança das instalações e sanar problemas operacionais. Seria possível aproveitar a infraestrutura da rede aérea de tração para instalação de câmeras;
- Integração das centrais telefônicas existentes por meio de rotas internas utilizando a rede WiMAX com o recurso Voice over Internet Protocol (VoIP). Atualmente, há problemas de cabeamento e de disponibilidade de interligação, além disso, esta ação reduzirá custos de uso das operadoras particulares de telefonia;
- Integração das estações no que se refere ao controle remoto e centralização do sistema de arrecadação (bloqueios eletrônicos), do consumo de água e energia, elevadores, escadas rolantes, grupos geradores, sonorização, cronometria e gerenciamento do sistema de vídeo vigilância;
- Integração do sistema de rádio Trem – CCO e vice-versa por meio da rede WiMAX, além de prover comunicação pessoal em campo (celular, rádio portátil, palmtops e notebooks);
- Enlace do radio digital para redundância com a fibra óptica, rotas para o sistema de telefonia e para o sistema Gigabits de transmissão de dados do parque informático;
- Telecomando das subestações, das cabines seccionadoras, do sistema de alimentação de tração, das chaves seccionadoras e dos sensores de energia ao longo da malha ferroviária;
- Transmissão de áudio e vídeo para o sistema de vídeo entretenimento dos trens e venda de espaço de mídia para anúncios de publicidade nos monitores em trens e estações;
- Disponibilização de recursos de Internet em banda larga para usuários diferenciados como, por exemplo, para os trens do projeto Expresso Aeroporto, que interligará o Aeroporto de Guarulhos ao centro de São Paulo;

- Gerenciamento e controle remoto da demanda de energia dos diversos pontos de entrega das concessionárias, naqueles pontos em que tenha contrato na modalidade Mercado Livre de Energia, objetivando o controle do processo à evitar multas contratuais.

Isto posto, justifica-se a escolha da tecnologia WiMAX no padrão IEEE *Standard* 802.16-2009 para aplicação do subsistema de transmissão de dados sem fio para a proposta de projeto do sistema de telemetria de trens na CPTM.

5. SISTEMA SUPERVISÓRIO DE TELEMETRIA DE TRENS (SSTT)

Neste capítulo será apresentada a proposta da topologia da estrutura do sistema supervisório como proposta de concepção de projeto, dando ênfase à sua concepção nos aspectos quanto aos requisitos críticos e não críticos, como também referente aos requisitos gerais, funcionais, de *hardware* e *software*, apresentando detalhes e cuidados que devem ser tomados e exigidos em projeto.

Este capítulo terá por base uma tese de doutorado de Grandi (2000), e uma especificação técnica CPTM ET – AM 8882-6 (2006).

No mercado, tratando-se de sistemas supervisório, em pesquisas realizadas, se encontra vasta literatura de sistemas de controle de processos de plantas industriais e de sistemas de telecomando/telesinalizações de setor de distribuição e geração de energia. Conceitualmente, independente da aplicação, um sistema *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA) trata de um centro supervisório provido de *hardwares* e de *softwares* aplicativos e dedicados instalados em rede, organizados com a finalidade de se efetuar gestão, compilação e armazenagem de dados, monitoramentos e diagnósticos operacionais de pontos críticos de equipamentos/sistemas ou, de processos em tempo real remotamente.

Neste contexto, será apresentada uma proposta de concepção de uma estrutura de um Sistema Supervisório de Telemetria de Trens (SSTT), cujo estudo irá apresentar diretrizes para sua concepção, inclusive nos aspectos e requisitos necessários. Para a concepção do SCADA há vários pontos importantes que abrangem desde a funcionalidade operacional à respectiva definição do projeto e a conseqüente escolha de *softwares* e *hardwares*, que devem ter especial atenção, pois irão estabelecer e compor toda a infraestrutura necessária.

Para especificar as necessidades do SCADA, para atender as necessidades de telemetria de trens, deve-se obrigatoriamente ter atenção aos seguintes requisitos para o projeto do sistema SSTT:

- Requisitos gerais;
- Requisitos funcionais;
- Requisitos de hardware;
- Requisitos de software;

5.1 REQUISITOS GERAIS

5.1.1 Estrutura do Sistema

Os modernos sistemas de automação são implementados com arquiteturas de Sistemas Abertos, baseados em processamento distribuído, possibilitando um crescimento modular do sistema (GRANDI, 2000, p.14).

Assim sendo, propõe-se que o SSTT deverá estar localizado dentro do Centro de Controle Operacional (CCO) (Figura 10) e possuir arquitetura distribuída, conforme proposta apresentada na Figura 9 – Proposta do modelo de estrutura do SSTT.

Nesta concepção existirão quatro ambientes distintos:

Console de Supervisão e Telemetria: Propõem-se quatro consoles de supervisão com três monitores de vídeo por console, sendo três consoles destinados a telemetria de trens, respectivamente, para as Linhas 7/10, 8/9 e 11/12 e um console para o supervisor geral do CCO, impressora, cinco servidores (dois SCADA, um Histórico, um WEB e um servidor de imagens da Central de Monitoramento da Segurança) e, painéis retroprojetados, em quantidades suficientes para atender as necessidades gráficas do projeto.

Console de Manutenção, Treinamento e Auditoria: Propõem-se dois consoles idênticos aos de supervisão, para serem usados no desenvolvimento de novas telas/funcionalidades, treinamento e auditoria da operação.

Console de Vigilância: A quantidade de consoles será definida segundo estratégias da CPTM e deverão ser todos idênticos, destinados a Central de Monitoramento de Segurança (Figura 11).

Rede Corporativa da Companhia: Correspondem aos usuários da CPTM que por meio de sua *Intranet* terão acesso as telas em tempo real, aos dados históricos armazenados e demais funções estatísticas, destinado ao gerenciamento do processo (Chefia), às Engenharias de Manutenção e de Operação e, principalmente, aos Centros de Manutenção do Material Rodante (Trens).

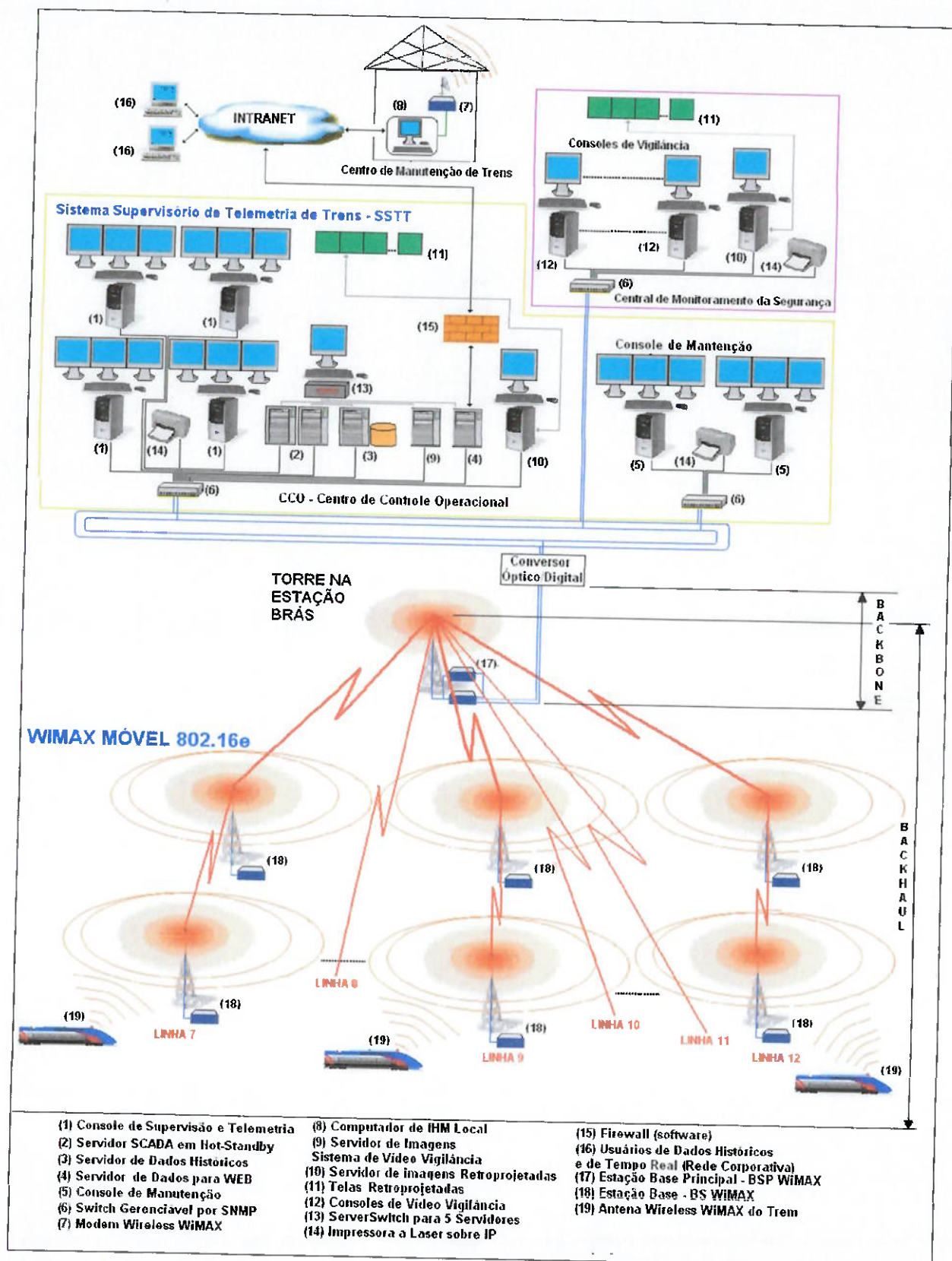


Figura 9 – Proposta do modelo de estrutura do SSTS – Fonte: (CPTM ET AM 8882-6, 2006, p. 20).

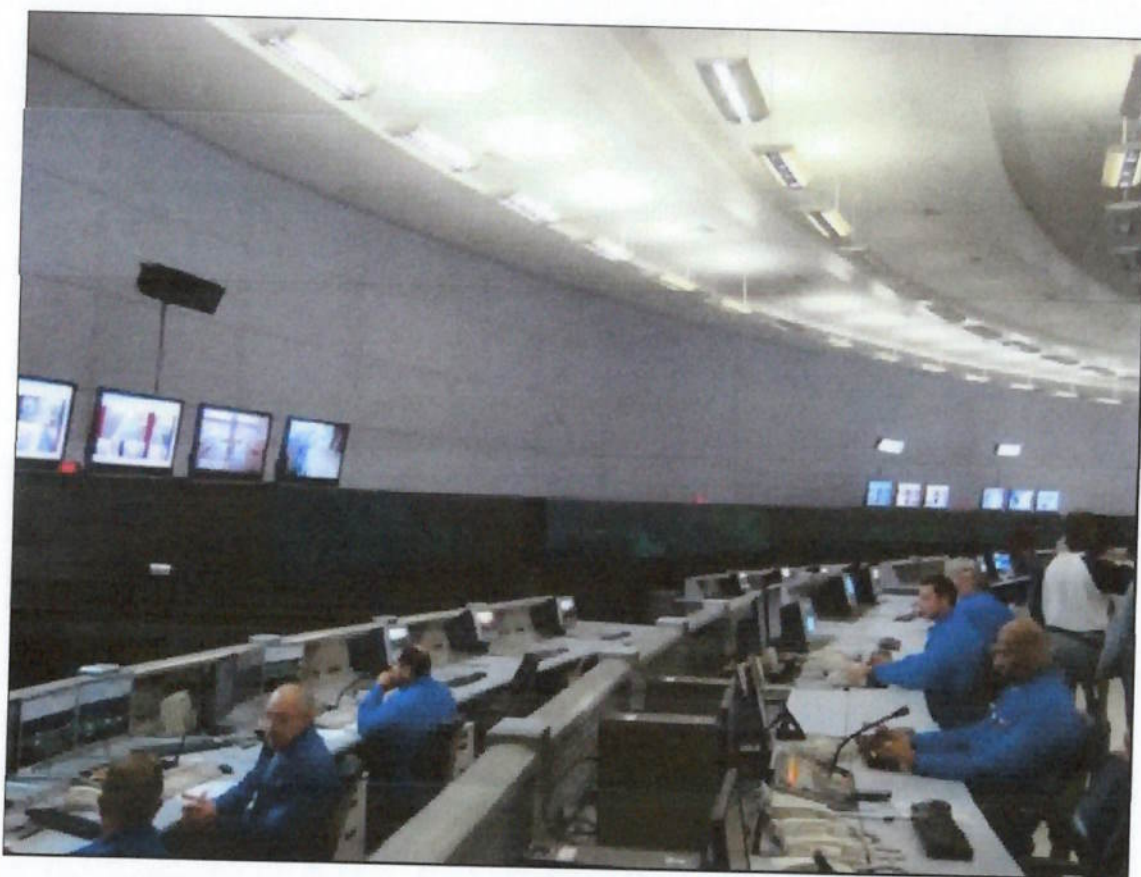


Figura 10 – Centro de Controle Operacional (CCO) do Brás na CPTM.



Figura 11 – Central de Monitoramento da Segurança na CPTM.

5.1.2 Requisitos da Operação

O sistema objetiva proporcionar uma ferramenta às áreas operacional e de manutenção de Material Rodante, centralizado no CCO do Brás, que irá efetuar a supervisão dos dados de telemetria em tempo real, referente ao desempenho e saúde dos trens em circulação, abrangendo todas as Linhas da CPTM.

5.1.2.1 SSTT

Este supervisório será chamado de Sistema Supervisório de Telemetria de Trens (SSTT), o qual será responsável pela compilação dos dados referentes às informações de telemetria dos trens que se encontram em circulação e à captura de imagens de câmeras de vídeo vigilância do interior dos seus carros, adquiridas em tempo real, além de armazená-las em um banco de dados, proporcionando o acompanhamento da circulação.

5.1.2.2 Sistemas embarcados – UTREM

Será chamada de Unidade de Transmissão Remota Embarcada Móvel (UTREM) os sistemas embarcados no trem.

No caso dos trens de última geração, trata-se de um sistema computadorizado interno provido de um de *software* SCADA próprio para processar e coletar as informações de telemetria e de imagens de câmeras internas do trem e realiza seu armazenamento local, todavia possui protocolos e *softwares* proprietários, cujo código fonte não foi disponibilizado para CPTM.

Para a frota de trens, cuja tecnologia é antiga, estes são desprovidos de sistema computadorizados; neste estudo, será proposta a instalação de dispositivo aquisitor de dados com interface *Ethernet*, caracterizando a UTREM, para processar e receber as informações de telemetria do trem, por meio de sensores que serão instalados em alguns pontos críticos de monitoramento do trem, dentro das suas possibilidades técnicas, porém não haverá armazenamento local dos dados. Será considerado que o processamento do dispositivo aquisitor será realizado em protocolo MODBUS transmitido em protocolo de comunicação *Ethernet* TCP/IP. Nesses trens antigos, terá sistema independente do aquisitor, composto de câmeras de vídeo interna nos carros dos trens, cujas imagens já estarão disponíveis em protocolo de comunicação *Ethernet* TCP/IP, cujo armazenamento, neste caso, será local. A UTREM, principalmente para os trens modernos, já possui uma base de

dados, sendo os mesmos pontos que serão configurados no SCADA do SSTT e, quanto aos trens antigos será configurado indicando os pontos possíveis e equivalentes a serem monitorados já na concepção do SCADA do SSTT. Todas as alterações de estado dos sensores devem ser sinalizadas no SSTT e, as medidas serão coletadas em tempo real em intervalos de tempo definidos na configuração do sistema.

5.1.2.3 Sistema de comunicação de dados entre o SSTT e as UTREM

Com base nas Figura 9 e Figura 12, o sistema de comunicação de dados será por meio da conexão dos Servidores de Comunicação do SSTT no CCO Brás a uma Estação Base Principal (BSP) do sistema WiMAX, que deverá ser instalada na estação do Brás, preferencialmente utilizando-se da infraestrutura existente de uma torre de transmissão do sistema de Rádio Digital existente, cujo site é muito próximo ao prédio do CCO, estabelecendo-se o *backbone* do sistema, via cabos ópticos. A formação do *backhaul* do sistema WiMAX fixo e móvel é composta por:

- Cada Linha da CPTM terá equidistante, devidamente dimensionada, a instalação de Estações Bases (BS) que serão responsáveis pela comunicação com os trens, via radio enlace com transmissão em banda larga, tendo como camada física (PHY), um sistema irradiante em rede celular WiMAX móvel, padrão IEEE Standard 802.16-2009, cujos dados de telemetria e de imagens do trem serão transmitidos em protocolo de comunicação TCP/IP por meio de um modem wireless WiMAX da UTREM. Neste processo para manter a comunicação na região de transição entre as células entre duas BS em virtude do movimento do trem se estabelecerá o processo de *Handover*,
- Em cada Linha da CPTM, cada BS irá efetuar a transmissão das informações a cada BS adjacente, por meio de outro sistema de rádio WiMAX fixo, em linha de visada *backhaul*, efetuando todo o fluxo das informações coletadas em todas as BS (rádios WiMAX móvel) de ponta a ponta, até fechar o enlace de rádio com a BSP.



Figura 12 – Topologia do *backhaul* do sistema de transmissão WiMAX móvel proposto para o sistema SSTS da CPTM.

Cabe ressaltar que no Anexo 3 se encontra disponível a Figura 12 – Topologia do *Backhaul* do sistema de transmissão WiMAX móvel proposto para o sistema SSTS da CPTM, em um tamanho maior.

5.1.3 Capacidade do sistema

Para o dimensionamento do sistema do SSTS recomenda-se que deverá ser configurado para atendimento aos requisitos de capacidade inicial, quando entrar em operação, em torno de 60%, objetivando futuras expansões, prevendo-se futuras aquisições de trens e implementações de novos pontos de telemetria (GRANDI, 2000, p. 54).

Dentro do possível, na concepção de projeto do SSTS, o sistema deverá ser dimensionado abrangendo os equipamentos embarcados no trem (sensores de monitoramento, dispositivos aquisitores de dados, supervisórios locais, modem *wireless* WiMAX e demais equipamentos da UTREM), a rede física do sistema WiMAX (estações base e sistema radio enlace fixo e móvel), o SCADA no CCO, dentre outros, de forma a processar todas as funções especificadas nas respectivas dimensões finais, incluindo todos os requisitos de aquisição de dados, atuais e

futuros, bem como a integração com servidores de dados corporativos do parque informático da Companhia, para acesso aos dados em tempo real e históricos.

No caso do *software* SCADA, normalmente o que determina o projeto, bem como o preço para sua aquisição, é a licença do número de *tags* previstos para o projeto.⁷ Entende-se por *tags* rótulos atribuídos no processo, por exemplo, pontos de telemetria do trem. Para que não haja limitações no *software* SCADA do sistema SSTT, visando ampliações do sistema, propõe-se que a licença seja para número ilimitado de *tags*, e o SCADA embarcado nos trens, considerando a série de trens modernos, determinarem um número limitado de *tags*, prevendo uma pequena reserva em virtude de possíveis remodelações e melhorias que sejam implementadas no trem. O mesmo é válido, considerando a aquisição de licenças do SCADA para uso das centrais de manutenção de trens no local.

5.1.4 Características gerais

Pontos importantes que deverão ser considerados na aquisição de um sistema para o SSTT, como se trata de significativos investimentos, o sistema deverá ser concebido tendo-se a atenção às seguintes características (CPTM ET – AM 8882-6, 2006, p. 31):

- Eficiência, Confiabilidade e Disponibilidade;
- Apresentar facilidades de operação, configuração e manutenção;
- Vida útil compatível com os investimentos efetuados de forma a garantir o adequado retorno dos mesmos;
- Os softwares a serem fornecidos deverão ser totalmente configurados na língua portuguesa, inclusive os sistemas de ajuda, apostilas e documentação técnica;
- Os softwares a serem fornecidos deverão possuir uma política explícita de atualização *update/upgrade* face as possíveis correções de produtos e seu avanço tecnológico.

5.1.5 Sistema SCADA do SSTT

Para a especificação do SSTT deverá ter-se o cuidado na escolha dos equipamentos de forma criteriosa, para se conseguir as respectivas integrações que configuram o contexto das funcionalidades desejadas do SCADA, haja vista que a

⁷ Informação prestada informalmente por empresas do Mercado que avaliam o custo de projeto em função do número de *tags* previstos.

sua principal função é a monitoração e o controle dos equipamentos em vários níveis, a qual se dará por meio do levantamento dos requisitos das funções a serem automatizadas/telemedidas, seguidas pela definição da arquitetura de *hardware*, *software*, transdutores e sensores a serem utilizados (GRANDI, 2000, p.16 e 17).

No caso do SSTT, o sistema SCADA deverá ser dedicado, pois não é comum no mercado esta aplicação, diferente de outras aplicações, as quais são comuns e disponíveis com várias opções no mercado.

Isto posto, a escolha do sistema operacional para o SCADA é um ponto importante do processo, pois requerem um sistema adequado envolvendo os requisitos de segurança, confiabilidade e rapidez, condizentes as necessidades imprescindíveis da aplicação do SSTT. Normalmente, existem duas categorias de sistemas para automação de processos utilizados no mercado: os SCADA baseados em Unix e os Sistemas Digitais de Controle Distribuído concorrente ao anterior, porém mais flexíveis, baseados em Windows e Linux (GRANDI, 2000, p. 22)

Portanto, recomenda-se que seja adotado um SCADA baseado em sistema operacional Windows, haja vista que o objetivo do SSTT, contemple soluções já disponíveis no mercado, atendendo aos conceitos de um sistema aberto, com facilidade de manutenção, interconexão e com portabilidade de *hardware* e *software*. A utilização do Windows apresenta-se como uma solução que no primeiro momento dá a impressão de um sistema de baixa disponibilidade, porém não procede, pois existem recursos como é o caso *Microsoft Cluster Service* (MSCS) que trata-se de um serviço do Windows que permite configurar o *Structured Query Language* (SQL) *Server* de forma a obter capacidade de *failover* e conseqüentemente alta disponibilidade de seus serviços e recursos. Haja vista que a estrutura proposta neste estudo contempla dois servidores é possível instalar o SQL *Server* de tal forma que se um servidor cair, um outro servidor do *cluster* assumirá seu trabalho e recursos (Pinheiro, 2006).

5.1.6 Sistema SCADA dos Centros de Manutenção

Os centros de manutenção de trens poderão ter acesso via Servidor de WEB do SCADA pela *Intranet* da CPTM, para acompanhar em tempo real a telemetria de qualquer trem em operação no sistema, além de ter acesso à consulta de dados históricos por meio do Servidor de Históricos do SCADA, na mesma base de dados em tempo real. Esta ferramenta possibilita à distância, técnicos especializados das

oficinas de trens e da Engenharia de Manutenção acompanhar os trens, sendo que uma vez detectado algum problema será possível diagnosticar e antever problemas, emitir pareceres, programar intervenções de manutenção específicas e prever possíveis problemas mais críticos que possa levar a degradação total do trem.

Para a manutenção de trens não operacionais, as oficinas deverão ser contempladas com SCADA local, preferencialmente, idêntico ao do SSTT, instalados em *wokstations* locais e/ou *notebooks*, servindo de instrumento de trabalho para a realização dos eventos de manutenção e testes do sistema de telemetria embarcados nos trens.

5.1.7 Concepção do sistema e as funções Críticas e Não Críticas

A concepção do projeto do sistema envolve parâmetros a serem estabelecidos, nos quais deverão ser previstos os subsistemas com funções consideradas críticas a confiabilidade e segurança de suas funcionalidades e, para isto, deverão ser devidamente planejados e projetados em suas configurações, ao contrário daqueles classificados com funções não críticos. Desta forma, para os subsistemas com funções críticas, a concepção do sistema deverá atender aos conceitos já consagrados de arquitetura distribuída, escalabilidade, expansibilidade, modularidade, segurança e interoperabilidade.

Assim, o sistema deverá prever servidores SCADA em *hot-standby*, com chaveamento automático dos consoles, para o caso de indisponibilidade do servidor Mestre, como também, todos os *hardwares* deverão estar conectados via rede local, dual e redundante, de maneira a assegurar a disponibilidade necessária do sistema, A configuração completa do sistema deverá satisfazer o requisito de que uma falha em qualquer um dos componentes, equipamentos ou uma desconexão não resulte na perda de qualquer função crítica e, deverá ser imediatamente detectada, identificada e registrada no arquivo de históricos e de estatísticas (GRANDI, 2000, p. 53).

Segundo citado por Grandi (2000, p. 48):

As principais funcionalidades a serem suportadas pela configuração de *hardware* estão relacionadas no item de Requisitos Gerais que define as funções críticas e não críticas. Estas funções poderão ser executadas individualmente, por meio de máquinas dedicadas e separadas, ou por meio de máquinas reunindo várias destas funcionalidades desde que atenda os requisitos funcionais de performance e de segurança.

Sob a ótica do projeto SSTT a classificação das funções se apresentam a seguir (CPTM ET – AM 8882-6, 2006, p. 31):

Funções Críticas:

- Aquisição dos dados em tempo real;
- Gerenciamento da base de dados em tempo real (BDTR);
- Processamento de eventos e alarmes;
- Funções da interface com os usuários, incluindo o suporte de consoles de operação e impressoras;
- Armazenamento e recuperação de dados históricos;
- Funções de Rotinas Automáticas. Essas funções devem ser passíveis de programações por meio de *scripts* suportados pelo SCADA;
- Funções que possibilitem a simulação do estado/valor que qualquer variável do SCADA, simulando assim, suas possíveis situações em campo;
- Visualização de dados históricos por meio da rede de tempo real;
- Sistema de gerenciamento da rede elétrica.

Funções Não Críticas:

- Simulador para treinamento de operadores;
- Modificação e geração dos bancos de dados;
- Modificação e geração de *displays*;
- Modificação e geração de relatórios;
- Suporte para desenvolvimento de *software* e para a integração de aplicações ao ambiente de tempo real;
- *Backup* do *software* e de dados do sistema.

Dentro das condições de disponibilidade, em termos de concepção operacional trata-se de um ponto crítico a degradação do sistema supervisor e, deverá prever e sustentar níveis de degradação, a fim de manter-se. Portanto, deverá ser previsto no projeto do SSTT os seguintes níveis operacionais, inclusive na situação de degradação, os quais deverão ser atendidos (CPTM ET AM 8882-6, 2006, p. 33):

- Operação Normal: Os dois servidores SCADA estão em funcionamento ativos e os consoles de supervisão, os servidores de histórico, de WEB e o de imagens estão conectados a estação SCADA MESTRE;
- Possibilidade de degradada 1: O servidor SCADA MESTRE falha e o servidor SCADA ESCRAVO assume como mestre, conectando-se a todas as UTREM em

supervisão. Os consoles de supervisão, os servidores de histórico, de WEB e o de imagens detectam a falha do SCADA MESTRE e efetuam o chaveamento automático do SCADA MESTRE para o SCADA ESCRAVO, configurando-se em nenhuma degradação funcional do sistema;

- Possibilidade de degradada 2: Os dois servidores SCADA estão em falha. As UTREM continuam operando, e armazenando localmente todos os eventos e alarmes ocorridos, exceto a frota de trens antigos providos de dispositivos aquisitores de dados, os quais não possuem condições de armazenamento de dados, exceto o sistema de captura de imagens que permanece funcionando e armazenando imagens. Quando o servidor MESTRE retorna, todos os eventos e alarmes que ocorreram em cada trem, desde a falha, são lidos pelo SSTT sem a perda de nenhum evento, exceto os trens antigos, cujos dados serão perdidos;
- Possibilidade de degradada 3: O sistema de transmissão WiMAX está em falha. O SSTT continua operando, porém com perda de conexão com as UTREM. Considerando que as UTREM continuam operando e quando o sistema de transmissão WiMAX retorna, em ambas as situações, os mesmos procedimentos ocorrem, conforme descrito no item anterior.

5.2 REQUISITOS FUNCIONAIS DO SSTT

5.2.1 Subsistemas do SCADA do SSTT

5.2.1.1 Servidor de comunicação e base de dados de tempo real (BDTR) do SCADA

No SSTT, a base de dados do SCADA, uma vez que a aplicação objetiva a aquisição de dados de telemetria, o sistema configura-se com a predominância de telesinalizações, por meio da recepção de dados, com o uso de entradas digitais, todavia nada impede que no futuro também possa efetuar telecomandos (saídas digitais).

Este subsistema na estrutura do SCADA pode-se considerar ser o “coração do sistema” de forma que deverão ser previstos dois computadores em configuração dual, *hot-standby* (CPTM ET AM 8882-6, 2006, p. 35). Terá a função de bancos de dados e como Servidor de Comunicação com todas as Unidade de Transmissão

Remota Embarcada Móvel (UTREM) e com os demais componentes do SCADA e do SSTT.

Estes servidores, para a comunicação, estarão conectados com *Servswitch* gerenciável por *Simple Network Management Protocol* (SNMP) conectado na rede do SSTT, na qual por meio de um conversor digital/óptico estará conectado aos cabos ópticos ligados ao equipamento de recepção da Estação Base Principal (BSP) da rede WiMAX.

Algumas observações e cuidados na concepção da base de dados do SCADA deverão ser considerados no projeto do sistema:

- É de extrema importância à elaboração da memória descritiva do projeto para possibilitar construir a base de dados do SCADA correspondente a todos os pontos de controle, supervisão e alarmes da telemetria (GRANDI, 2000, p. 42);
- Equivalente se aplica às UTREM, pois devem possuir uma base de dados com os mesmos pontos de telemetria, conforme foram configurados no SCADA;
- Capacidade de armazenamento de dados em tempo real confiável, redundante para tolerar situações de falhas simples, e, preferencialmente, utilizando, em tempo real gerenciador de base de dados relacional e linguagem de acesso com suporte para o *Structured Query Language* (SQL) (GRANDI, 2000, p. 48);
- Prever redundâncias, tanto de servidores como de discos, capazes de garantir o seu funcionamento mesmo em caso de falhas simples, em quaisquer de seus componentes;
- Ter uma única base de dados e, possuir capacidade de armazenamento, visualização e tratamento do histórico de dados e de ocorrências no SSTT, com capacidade de transferência destas informações, de forma integrada, para uso das áreas afins na rede corporativa;
- O subsistema de gerenciamento de banco de dados deverá ser integrado e, manter uma visão atualizada do sistema supervisionado, considerando todos os subsistemas existentes, permitindo ao usuário observar e monitorar o banco de dados e o estado do processo, por meio de IHM específica (GRANDI, 2000, p. 85);
- Prever a atualização dos dados, acesso aos dados compartilhados com todas as aplicações, bem como, ferramentas para criação, gerenciamento das estruturas e armazenamento da definição dos dados. Todos os procedimentos de gerenciamento para a operação em tempo real, que correspondem às linguagens de acesso e manutenção dos dados, deverão ser efetuados, sem

qualquer interrupção da operação do sistema ou ter a perda de informações. O gerenciamento do banco de dados deverá permitir todo o procedimento de modelagem *off-line*. Deverá também, prever ferramentas para o desenvolvimento de novas aplicações e manipulação dos dados, em tempo real (GRANDI, 2000, p. 85 e 86);

- Possibilitar a realização de *backup* automático e restauração de programas quando comandado, bem com prever sistemas automáticos para transferência de dados para dispositivos de gravação (*hard disk*, CDR, DVD, etc.).

5.2.1.2 Servidor de dados históricos

O Servidor de Dados Históricos deverá armazenar todas as informações em tempo real resultantes da telemetria que o SCADA receber das UTREM. Deverá permitir facilmente visualizar um determinado instante ocorrido no passado, em telas semelhantes às telas de tempo real, além de permitir, traçar curvas de tendência de dados passados, e também os mais diversos relatórios pré-formatados, conforme as necessidades da CPTM.

Na estrutura do SCADA contempla um computador com aplicativos, responsáveis por servir dados históricos aos demais módulos do SSTT e deverá estar residente em uma máquina separada da máquina do servidor SCADA, tendo duas funções principais (CPTM ET AM 8882-6, 2006, p. 58):

- Como cliente do módulo servidor SCADA, deverá receber todos os eventos de telemetria e valores de variáveis analógicas lidas, ciclicamente, e armazená-los no banco de dados histórico. Recomenda-se que seu *hardware* deverá ser dimensionado com capacidade para armazenar os dados de, no mínimo, três anos passados e deverá permitir o acesso rápido às informações do histórico do desempenho dos trens, haja vista a sua importância para as áreas de Manutenção e de Engenharia, os quais deverão estar disponíveis no disco rígido do Historiador. Após este prazo, os dados deverão ser armazenados nos meios destinados para os *backups* dos dados históricos;
- Como servidor de dados históricos deverá atender a todos os pedidos de consulta a eventos, alarmes, tendências históricas e consultas SQL a dados históricos;

- A consulta, tratamento, *backup* e visualização de dados históricos poderão ser em tempo real, por meio do SCADA e por meio da rede corporativa por meio do Servidor WEB.

Não é necessária a redundância de servidor de históricos, recomenda-se que o mesmo tenha redundância de disco rígido. Adicionalmente para o caso de perda da comunicação entre os servidores de dados históricos e do SCADA, este último deverá manter um *buffer* local, que será usado para a recomposição da base de dados histórica quando a conexão for restabelecida (CPTM ET – AM 8882-6, 2006, p. 58), que poderá ser limitado em horas ou dias.

Algumas observações e cuidados na concepção do Servidor de Dados Históricos deverão ser considerados, de forma que o banco de dados e seu *software* associados deverão atender aos seguintes requisitos:

- Realização de *backup* automático e restauração automática de programas e de dados que tenham sido retirados da base de dados, quando comandado, bem como, prever sistemas automáticos para transferência de dados para dispositivos de gravação (*hard disk*, CDR, DVD, etc.);
- Realização de tendência de dados históricos à medida que for sendo atualizado na base (GRANDI, 2000, p. 89) e, deverá permitir realizar consultas e a seleção, utilizando diferentes períodos de amostragem, podendo integralizá-los por período de data e hora, inicial e final, dentro dos últimos três anos (capacidade dimensionada) e, permitir a utilização dos dados pelos aplicativos da rede corporativa;

5.2.1.3 Servidor de WEB

O objetivo do servidor de WEB é disponibilizar para a rede corporativa da CPTM às pessoas habilitadas a ter acesso (*login* e senha), tais como, o corpo gerencial, áreas de operação e manutenção e suas respectivas Engenharias, profissionais das oficinas de manutenção de trens, dentre outras áreas, a fim de ter acesso limitado à consulta no SSTT.

Deverá disponibilizar as próprias telas do sistema de tempo real e de dados da telemetria dos trens, telas de visualização de dados estatísticos e de consulta a dados históricos, por meio de ferramentas da rede via WEB, na *Intranet* da CPTM, tendo acesso por meio de um *browser* padrão de mercado, por exemplo, *Internet Explorer* (CPTM ET AM 8882-6, 2006, p. 58).

Recomenda-se que deva ser disponibilizadas telas de tempo real de supervisão, com as mesmas características de navegabilidade das telas de processo do console do SSTT, sendo atualizadas automaticamente, sempre que houver atualização do estado/valor das variáveis. Também deverão estar disponíveis demais telas do SSTT em tempo real, tais como, alarmes correntes e eventos do dia e, telas de consulta a eventos e de tendências históricas.

5.2.1.4 Servidor de imagens

O objetivo do servidor de imagens do Sistema de Vídeo Vigilância é armazenar todas as informações em tempo real de captura de imagens das câmeras instaladas no interior dos carros do trem que o SCADA receber das UTREM, e deverá permitir facilmente visualizar um determinado instante ocorrido no passado, em telas semelhantes às telas de tempo real.

Na estrutura do SCADA o servidor de imagens contempla um computador separado da máquina do servidor SCADA, com aplicativos, responsáveis pelo armazenamento e por servir dados de imagens da Central de Monitoramento da Segurança e aos demais módulos do SSTT, tendo duas funções principais:

- Como cliente do módulo servidor SCADA, deve receber todos os eventos de imagens recebidas ciclicamente e armazená-los no banco de dados. Seu *hardware* deverá ser dimensionado com capacidade para armazenar os dados recomendando-se, no mínimo, 06 (seis) meses passados e, deverá permitir o acesso rápido as imagens por data e hora. Após este prazo, os dados deverão ser armazenados nos meios destinados para os *backups* dos dados de imagem;
- A consulta, tratamento, *backup* e visualização de imagens poderão ser em tempo real, por meio do SCADA, da Central de Monitoramento da Segurança e da rede corporativa, por meio do Servidor WEB.

Não é necessária a redundância de servidor imagens, recomenda-se que o mesmo tenha redundância de disco rígido. Adicionalmente para o caso de perda da comunicação entre os servidores de imagens e do SCADA, este último deverá manter um buffer local, que será usado para a recomposição da base de dados de imagens quando a conexão for restabelecida (CPTM ET AM 8882-6, 2006, p. 58), que poderá ser limitado em horas, sob controle, efetuando-se a redução drástica do tamanho dos arquivos de imagens gravados, adotando critérios, conforme as necessidades da CPTM.

5.2.1.5 Consoles de supervisão

Na estrutura do SCADA contempla quatro postos de supervisão de telemetria, cada posto três monitores de vídeo para apresentar telas do SCADA, conectando-se aos demais módulos por meio da rede dual *Ethernet/TCP-IP*. Cada posto de supervisão irá monitorar em tempo real os eventos e alarmes do SSTT e uma ou mais Linhas da CPTM, sendo que, três console serão destinados à telemetria de trens, respectivamente para as Linhas 7/10, 8/9 e 11/12 e, um console para o supervisor geral do CCO.

5.2.1.6 Console de manutenção, treinamento e auditoria

Na estrutura do SCADA contempla dois consoles idênticos aos consoles de supervisão que podem assumir quatro funcionalidades distintas:

- Podem funcionar de forma idêntica a um console de supervisão;
- Módulo de Manutenção do SCADA: permite a manutenção do sistema efetuando-se inclusão, exclusão e alteração de parâmetros de pontos da base de dados e de telas e desenvolvimento de novos relatórios e aplicativos. Nessa modalidade, para testar as alterações feitas, deverá ser possível executar o *run-time* conectando-o as UTREM, como também, poderá ser executado como um cliente da central, ou como, um módulo *stand-alone* (funcionando sozinho independente de outros dispositivos), permitindo o teste de novas funcionalidades desenvolvidas. Uma vez que as alterações feitas estejam testadas, a base de dados de parâmetros do módulo de manutenção deverá ser sincronizada com a base de dados do sistema de tempo real, implementando-se assim as alterações. Obrigatoriamente, as bases de dados de parâmetros do SCADA deverão ser implementadas sobre uma base de dados relacional de mercado, idêntica a base de históricos. Assim, existirá uma única base de dados publicada e diversas assinaturas. Após a alteração de uma assinatura, no módulo de manutenção é feita sua sincronização com a base mestre (CPTM ET – AM 8882-6, 2006, p. 54 e 55);
- Módulo de Treinamento de Operadores: ativa o *run-time* do SCADA com um módulo de simulação em quaisquer dos consoles de manutenção, permitindo o treinamento de operação do console de supervisão. Para tal deverá existir um *software* simulador que, a partir da base de dados de parâmetros do sistema, gera uma IHM de todos os pontos, permitindo à emulação dos eventos das

UTREM, a partir dessa IHM, sendo possível a simulação das ações de supervisão de telemetria dos trens, assim como, causar eventos e alarmes, fazendo com que o sistema reaja de forma idêntica ao tempo real;

- Módulo de Auditoria: Essa funcionalidade objetiva fazer a auditoria sobre a ocorrência de um evento de telemetria dos trens e, permite que quaisquer dos consoles de manutenção possa assumir esta condição e, definir uma data e horário passados, até três anos (capacidade dimensionada), onde o sistema retorna restaurando em todas as telas o estado existente naquela data, conforme registrado, com recursos de "moviola" (recursos de operação cinematográfica), que deverá estar presente como funcionalidade do SCADA (CPTM ET AM 8882-6, 2006, p. 36), de forma a poder fazer um *play back* de todos os eventos, alarmes e medidas, definindo a sua velocidade, como se os eventos estivessem ocorrendo em tempo real.

Essa ferramenta permite que se faça auditoria dos procedimentos executados em situação de falha, bem como se treine operadores com situações reais, vivenciadas.

5.2.1.7 Consoles da rede corporativa

Elas são os computadores de usuários do sistema existente na rede corporativa da CPTM que, por meio de um *browser* de mercado, pela *Intranet* da CPTM, terão acesso aos dados históricos e de tempo real. Assim, eles devem ser capazes de mostrar:

- Telas do SCADA (eventos, alarmes, consultas aos servidores de histórico e de imagens, etc.);
- Telas do SSTT dos trens em todas as Linhas da CPTM.

5.2.1.8 Sistema de retroprojeção

O sistema de retroprojeção deverá ter sistema de visualização gráfica feita por meio de cubos de retroprojeção, os quais devem ser gerenciados por *software*, suportando as seguintes funcionalidades (CPTM ET – AM 8882-6, 2006, p. 37):

- Copiar remotamente as janelas dos aplicativos que serão visualizados nos cubos via rede TCP/IP, mantendo uma taxa de atualização aceitável para a supervisão do sistema;

- Controlar automaticamente o tamanho e posição das janelas de todas as aplicações visualizadas, conforme a programação realizada;
- Permitir a criação de múltiplos *Layouts* que permitam ao operador do console de supervisão fazer mudanças rápidas e simultâneas de uma ou mais janelas de aplicações visualizadas em sua área de trabalho;
- Permitir programações via *Application Program Interface* (API), para integrações futuras com outros *softwares*;
- Permitir multi-usuários, com permissões diferenciadas.

Com o desenvolvimento atual do mercado de televisores de tela plana em *Liquid Crystal Display* (LCD) e *Light Emitting Diodes* (LED), permitindo telas com tamanhos acima de 50 polegadas, estes equipamentos podem funcionar como monitores de vídeo, pois possuem conectores padrão *Video Graphics Array* (VGA) e até *Red-Green-Blue* (RGB), caso permita recursos de API e atenda as condições de resolução do sistema, seu uso, poderá ser uma boa opção para esta aplicação.

5.2.2 Operação e correlação dos servidores do SSTT

O sistema, como já dito, contempla dois servidores de comunicação do SCADA, os quais deverão operar em *hot-standby*, sendo uma estação MESTRE e outra ESCRAVA. As duas estações têm as mesmas funcionalidades, de maneira que, a falha de uma, não muda em nada o desempenho e as funcionalidades do sistema na outra estação.

As estações MESTRE e ESCRAVA funcionam paralelamente, sendo a primeira ativa e a segunda em modo de visualização, porém no caso de falha entre a estação MESTRE a ESCRAVA assume suas funções automaticamente, de forma que as demais estações devem detectar a falha da estação MESTRE e redirecionar-se para o IP da nova estação MESTRE. Além disso, a estação MESTRE executa três funções principais (CPTM ET – AM 8882-6, 2006, p. 40):

- Comunicar-se com as UTREM por meio dos protocolos de aplicação utilizados;
- Comunicar-se com as demais estações do SSTT enviando dados das UTREM tratados pelo módulo de monitoração do SCADA e recebendo mensagens com ordens e pedidos das demais estações;
- Opcionalmente, executa também as funcionalidades de um console de supervisão.

5.2.3 Funcionalidades dos módulos de comunicação

Para o projeto do SSTT recomenda-se que a comunicação entre o SSTT e as UTREM deverá ser:

- UTREM: Essa comunicação poderá ser em qualquer protocolo desde que a UTREM faça a tradução desse protocolo para MODBUS TCP/IP *Client/Server*. É importante destacar que eventos de telemetria deverão ser datados com exatidão de ms. Assim, as UTREM, caso seja necessário, devem ser *gateways* dos protocolos suportados com o sistema de sensoriamento do trem;
- UTREM e Servidor SCADA: Essa comunicação será em MODBUS TCP/IP *Client/Server*, que além deste deverá ter disponíveis, preferencialmente os protocolos descritos na Tabela 10:

Tabela 10 – Tabela de protocolos de comunicação no SSTT

EQUIPAMENTOS	PROTOCOLOS
Servidor SCADA (tempo real e desenvolvimento)	MODBUS TCP/IP <i>Client/Server</i> Preferencialmente OPC ⁸ <i>Client/Server</i> SNMP <i>Middleware</i> a especificar
UTREM	MODBUS TCP/IP <i>Client/Server</i> Preferencialmente OPC <i>Client</i> <i>Middleware</i> à especificar se necessário.

- Módulos Gerenciáveis por *Simple Network Management Protocol* (SNMP) e Servidor SCADA: Todos os *Switchs* e todos os computadores onde executam o SCADA deverão ser agentes SNMP, possibilitando que o próprio *software* SCADA gerencie, por meio do protocolo SNMP, a disponibilidade de todos os equipamentos conectados na rede, bem como, medir performance, tráfego na rede, etc. (CPTM ET – AM 8882-6, 2006, p. 39)

5.3 REQUISITOS DE HARDWARE

Um dos pontos importantes para aquisição do *hardware* deve-se levar em consideração equipamentos de elevada confiabilidade e com alta disponibilidade, haja vista que deverão suportar regime de operação ininterrupta 24 horas e sete dias da semana, atentando aos fabricantes, cujos produtos já sejam consolidados e consagrados no mercado, pela sua qualidade quanto ao tipo de aplicação. Além

⁸ OLE for Process Control (OPC), no qual *Object Linking and Embedding* (OLE)

disto, o planejamento deve adquirir um sistema (*software e hardware*) com uma vida útil de até no mínimo 10 anos.

Quanto à arquitetura de *hardware*, a aquisição poderá ser à medida que os projetos forem sendo implementados, sendo importante que toda a arquitetura de *hardware e software* seja adquirida com um único fornecedor, objetivando minimizar riscos, caso contrário, muitos itens como desempenho, segurança e qualidade de serviços podem ficar prejudicados.

Deverá ser utilizada tecnologia de processadores padrão, de última tecnologia, com arquitetura de 64 bits, compatíveis ao sistema operacional que será utilizado para o SSTT, recomendando-se o uso do *Microsoft Windows Server 2003* ou superior.

As configurações de *hardware* devem atender às normas internacionais relativas à concepção de um sistema com arquitetura aberta e sistema distribuído, sendo importante que seja funcional e que melhor atenda aos requisitos operacionais, de performance, de confiabilidade, de expansibilidade e interoperabilidade, aduzindo que deva ser atendido com especial atenção as definições previstas nos requisitos gerais do sistema, quanto às funções críticas e não críticas (GRANDI, 2000, p. 66).

Deverá ser previsto equipamentos GPS, tanto no SSTT com nas UTREM, haja vista que além da importância da localização dos trens, também será atribuir uma mesma base de tempo no sistema de supervisão, estabelecendo-se a compatibilidade dos dados fornecidos na comunicação entre o SSTT e as UTREM tendo um processamento de seqüência de eventos integrada.

5.3.1 Unidade central de processamento e memória principal

Quanto à escolha da unidade de processamento dos servidores e também quanto à escolha referente aos requisitos da memória principal, deverá ter cuidados especiais na concepção de projeto do *hardware* (GRANDI, 2000, p. 68):

- Unidade Central de Processamento – Escolher os servidores atendendo os requisitos de performance em estado de atividade normal ou de pico, atendendo as características principais, tais como, capacidade de expansão da CPU, uso de processadores com arquitetura de 64 bits, o uso de técnicas de *caching* de memória, fazer uso de barramento de I/O padronizado, não proprietário e consagrado, fazer uso de relógio interno de tempo real com resolução mínima de 0,001 s, processador com técnica de carregar e descarregar instruções de forma seqüencial (*pipelining*), uso de recursos de *power failure* e *autorestart*, etc;

- Memória Principal - os servidores deverão ser fornecidos com memórias RAM dedicadas, o suficiente para satisfazer todos os requisitos funcionais e de performance estabelecidos, possuir um eficiente controle de erros. As características principais da memória principal a serem atendidas são verificações de paridade e de Código de Correção de Erro (ECC), ser devidamente dimensionada em termos de capacidade de memória, principalmente, prevendo-se expansões futuras em virtude do aumento do carregamento dos sistemas e, possuir tempos de acesso menores que 10 ns.

Para o projeto de servidores do sistema deve-se levar em consideração para a definição do *hardware*, a redundância *hot-standby* para o servidor SCADA, pois executam funções críticas e, para o *hardware* das funções não crítica, pode-se ter uma configuração simplificada.

5.3.2 Unidades de armazenamento de massa

Cuidados especiais quanto ao dimensionamento e escolha das unidades de Armazenamento de Massa, na concepção de projeto do *hardware* (GRANDI, 2000, p. 69):

- Unidades de Armazenamento de Massa (Discos) - Deverão usar interfaces padronizadas, não proprietárias e consagradas no mercado. Para garantir alta disponibilidade dos dados, deve possuir soluções técnicas, tais como, espelhamento de dados (*mirroring*) e *Redundant Array of Inexpensive Disks* (RAID5). Qualquer manutenção no sistema de armazenamento deverá ser feita sem a interrupção das funções do SITT. Deverá assegurar que todos os dados da aplicação estejam disponíveis e acessíveis por meio de servidores redundantes (casos salvos, dados históricos). Características: devidamente dimensionado em termos de capacidade, principalmente, prevendo-se expansões futuras, ter um tempo médio de acesso inferior a 5 ms, ter uma taxa de transferência de dados superior a 30 MBps, possuir um mecanismo de proteção na escrita, possuir capacidade de verificação de erros e de diagnósticos *on-line*.

Na questão que envolve a comunicação de dados entre as UTREM e Servidores de Dados, os equipamentos deverão ser dimensionados adequadamente, principalmente para atender a capacidade de coleta e processamentos de dados em tempo real e atender todos os requisitos previstos em projeto.

5.3.3 Rede Local Area Network (LAN)

Na estrutura do SCADA todos os servidores, do sistema SCADA, de Dados Históricos, de WEB e de Imagens, são contemplados com computadores individuais, sendo que cada um dos módulos se conectam e se comunicam aos demais módulos servidores, por meio de uma rede *Local Area Network* (LAN) dual e redundante *Ethernet/TCP-IP*, de maneira que cada respectiva Interface Homem x Máquina (IHM), poderá ser compartilhada, entre si, com os referidos servidores, por meio de um *Servswitch*. No caso dos dispositivos periféricos deverão estar conectados diretamente à rede LAN e serem acessíveis a partir de qualquer estação, de forma a evitar chaveamentos físicos. Em caso de falha da rede LAN ativa (principal), a troca de dados deverá ser automaticamente chaveada para a outra LAN (redundante), sem que haja qualquer interrupção da operação do sistema ou perda de informações (GRANDI, 2000, p. 73 e 74).

No projeto e configuração física das LAN, deverá ser levando em consideração os equipamentos de comunicação que fazem parte deste subsistema na configuração de *hardware*, tais como, *switchs*, roteadores, *hubs*, cabos e outros, e o *software* necessário para garantir a comunicação por meio desta LAN para a rede corporativa (GRANDI, 2000, p. 73). Tais equipamentos de comunicação deverão ser agentes SNMP, passíveis de gerenciamento por meio do SCADA.

A adoção de equipamento *servswitch* trata-se de uma solução para comutação de servidores, e não precisa de nenhum *software* específico para instalar nos servidores, o qual permite um incremento nos níveis produtividade e segurança, reduzindo a necessidade de acesso físico aos servidores, limitando o acesso aos usuários autorizados.

5.4 REQUISITOS DE SOFTWARE

Quanto aos requisitos de *software* algumas observações devem ser levadas em consideração em virtude da concepção do projeto, cujos cuidados incluem muitos detalhes, os quais somente poderão ser discutidos no advento da elaboração do projeto propriamente dito.

Os *softwares* deverão ser abertos com interface amigável de fácil aprendizado e manuseio, sem a necessidade de requisitos de linguagem de programação avançados, de forma que proporcione total independência a CPTM para futuras

implementações e modificações do SSTT, tais como, a inclusão de novas UTREM, abrangendo a implementação de todas as funcionalidades previstas.

O SSTT deverá abranger um conjunto integrado de produtos de *software* consagrados e com várias cópias implantadas e em operação. O mesmo deve gerenciar aplicações em sistemas de monitoramento em tempo real, suportando as funcionalidades do SCADA, da interface gráfica do usuário, do armazenamento/tratamento/visualização do histórico, funções em tempo real, funções de análise de rede em tempo real e modo de estudo, e simulador para treinamento de operadores.

O sistema deverá possuir facilidades para novos desenvolvimentos apoiando as fases de programação, testes e implantação.

O sistema operacional deverá ser um produto padrão disponível no mercado na versão atual mais recente e ser compatível com os padrões e requisitos previstos em projeto, provendo meios para que o *software* do sistema possa atender os requisitos estabelecidos em relação à tolerância de falhas, expansibilidade, reconfiguração, migração, atualização de versões, desempenho do sistema, disponibilidade, *failover* e reinicialização, inerentes ao gerenciamento de uma configuração dual em termos de *software* de aplicação (GRANDI, 2000, p. 81).

Para atender e garantir os requisitos de confiabilidade e disponibilidade do SSTT, não basta à duplicação do *hardware*, em configuração *hot-standby*, sem que o sistema seja dotado de recursos que permitam um rápido *failover* (modo de operação, nos quais as funções de um componente são assumidas por outro em caso de falha do primeiro) dos equipamentos que realizam as tarefas que envolvem as funções críticas. Deverá ser previsto na integração *software* e *hardware* um sistema de *failover* que no advento da constatação de uma falha no sistema seja automaticamente ativado, como também a possibilidade do acionamento do *failover* manual comandado pelo operador com o mesmo status do recurso para o modo automático. Para o *failover* é importante dimensionar o tempo de chaveamento dos servidores redundantes, o qual deverá ser especificado objetivando que, ao ser detectada a falha, a partir deste momento, o tempo de chaveamento até o restabelecimento final do sistema não poderá exceder o tempo fixado em projeto, em virtude de garantir a preservação da integridade dos dados (GRANDI, 2000, p. 72).

Com relação às ferramentas de desenvolvimento e manutenção de *software*, o sistema deverá conter funções para manutenção, desenvolvimento de novas aplicações e testes.

Para monitoração do sistema serão necessários *softwares* específicos para monitoração do desempenho do sistema para todos os *hardwares*, para verificação do carregamento e performance do *software* aplicativo, bem como, a gerência das redes de comunicação, os quais não deverão degradar a performance do sistema. Na ótica de monitoramento do sistema é de suma importância programa para gerenciamento das funções e processos dos servidores, que possibilite a sua manutenção (GRANDI, 2000, p. 84).

Programas de diagnósticos deverão ser contemplados para todos os componentes de *hardware*, funcionando tanto no modo *off-line* como *on-line*, abrangendo os consoles de supervisão, servidores, o sistema de comunicação de dados, IHM, periféricos, a rede LAN, para componentes de *hardware*: CPU, memória principal, periféricos, unidades de disco, comunicação com as UTREM e servidores de dados (GRANDI, 2000, p. 85).

O subsistema de gerenciamento de banco de dados deverá ser integrado, levando em consideração todos os subsistemas existentes. Sua base de dados deverá manter uma visão atualizada do sistema supervisionado. Ele deverá permitir ao usuário observar o estado do processo, monitorando o banco de dados e deverá contemplar: as estruturas das UTREM e a estrutura do sistema de comunicação de dados. O banco de dados deverá ser adequado para as funções de tempo real, programas de análise da rede, simulador para treinamento de operadores, entre outras funções, que mantenha uma visão para cada uma das aplicações. O gerenciamento do banco de dados deverá permitir todo o procedimento de modelagem *off-line*, todos os procedimentos de gerenciamento para a operação em tempo real e manutenção dos dados (GRANDI, 2000, p. 85 e 86).

O gerenciador de banco de dados relacional deverá ser comercialmente disponível no mercado, que seja usado obrigatoriamente para gerenciamento dos bancos de dados fonte, com técnicas apropriadas para modelagem em tempo real, preferencialmente, para o gerenciamento do banco de dados tempo real e histórico, com estruturas de dados relacionais interativas, e comunicação com a referida base de dados, que deverá permitir as características de distribuição e replicação da base de dados de tempo real. O gerenciador de histórico deverá ter interface com SQL

padrão e fazer uso de *Open DataBase Connectivity* (ODBC). Este gerenciador deverá possuir uma interface do tipo *Application Program Interface* (API) (GRANDI, 2000, p. 50 e 86).

Em relação ao banco de dados em tempo real o sistema de gerenciamento deverá ser um repositório de todos os dados originários da aquisição de dados em tempo real recebidos das UTREM, dos dados introduzidos manualmente pelos usuários e dos dados resultantes dos programas de aplicação e de cálculos. O banco de dados em tempo real deverá assegurar a performance do sistema, incluindo os tempos de respostas operacionais e os requisitos de capacidade de expansão do sistema (GRANDI, 2000, p. 87).

Deverá contemplar um sistema de gerenciamento de redes de tempo real que inclua, no mínimo, os seguintes serviços compatíveis, preferencialmente, com *Simple Network Management Protocol* (SNMP) (GRANDI, 2000, p. 90):

- Ter gerenciamento da configuração, incluindo serviços de *watchdog* (verifica constantemente o andamento do programa que está rodando no microcontrolador ou microprocessador). Se o programa travar (*loop* infinito indesejável, ou desvio para local inadequado), o *watchdog* avisa de alguma forma que o mesmo ocorreu;
- Possuir recursos para manutenção do sistema: diagnósticos, registros de erros, falhas e de mensagens;
- Fazer monitoração da performance do sistema;
- Contemplar um *Firewall* para as ligações com a rede corporativa;
- Fazer uso de sincronização de tempo de todos os equipamentos da LAN com exatidão de + 1ms;
- Contabilizar a utilização dos recursos do SSTT;

O banco de dados de histórico e seu *software* associado devem atender aos seguintes requisitos (GRANDI, 2000, p. 88 e 89):

- Quanto à forma de armazenamento, a frequência deve ser parametrizada por tipo de dado, podendo ser dimensionada para o tempo de varredura do ponto. Alternativamente pode-se utilizar técnicas de compressão de dados desde que não haja perda de informações e performance. O sistema deverá possuir técnicas de *buffering* no processo de amostragem de dados de tempo real para serem armazenados nos servidores de histórico, de forma a evitar a perda de dados no caso de indisponibilidade desse servidor ou da rede. O *buffering*

deverá ser dimensionado de acordo com a disponibilidade da solução oferecida para o histórico;

- O depositário de dados obrigatoriamente deverá ser em banco de dados relacional, preferencialmente, *Microsoft Structured Query Language Server (MS SQL Server)*, com acesso disponibilizado ao usuário para que possa desenvolver seus próprios programas e relatórios utilizando ferramentas de mercado para manipulação de bancos de dados relacionais;
- O sistema deve ser dimensionado para manter na base, no mínimo dados históricos relativos há quantidades de dias que forem determinados pela gestão do SSTT, além de área para a restauração de 03 dias completos;
- O sistema deve absorver automaticamente as atualizações da versão da base de dados de tempo real, sem intervenção manual;
- O catálogo (dicionário de dados) deve permitir alterações na base histórica sem provocar instabilidade nesta base.

5.4.1 Sistemas operacionais e softwares básicos

Deverá ser adotado para esta concepção:

- Todas as máquinas deverão ter sistema Operacional *Microsoft Windows Server 2003* ou superior;
- Os Servidores de dados históricos deverá ter o banco de dados relacional *Microsoft SQL Server* com possibilidade de 10 acessos simultâneos.

5.4.2 Softwares aplicativos

5.4.2.1 Software SCADA

Deverá ser adotado para esta concepção (CPTM ET – AM 8882-6, 2006, p. 68):

- Os softwares SCADA instalados nos Servidores SCADA duais, hot-standby, deverão ser fornecidos com licença para número ilimitado de pontos, com possibilidade de estação de visualização local e com nove clientes de visualização:

Quatro clientes de visualização no console de supervisão;

Um cliente de visualização no servidor de histórico;

Um cliente de visualização no servidor de imagens;

Um cliente de visualização no servidor WEB;

Dois clientes de visualização nas estações de manutenção.

- O software Histórico instalado no Servidor de dados históricos deverá ter uma base de dados SQL Server, com licença para 10 clientes;
- O software gerenciador de imagens instalado no Servidor de imagens deverá ter uma base de dados apropriada para armazenamento de imagens, com licença para, no mínimo, 10 clientes;
- O software instalado no Servidor de WEB deverá disponibilizar telas de tempo real e consulta a dados históricos por meio da Intranet da CPTM;

Os *softwares* instalados nos consoles de manutenção deverão permitir toda e qualquer configuração, tanto do *software* do SSTT, quanto dos *softwares* SCADA das UTREM e, IHM e *notebooks* das áreas de oficinas de trens.

5.4.2.2 *Middleware*

A CPTM possui diferenças tecnológicas de trens de última geração em sua frota, principalmente, no que concerne quanto aos seus sistemas embarcados e de gerenciamento de telemetria local, os quais são distintos e proprietários, utilizando diferentes protocolos de comunicação, sistema operacionais e *software* SCADA nas UTREM, que irão oferecer problemas de comunicação e interpretação de dados por parte do SCADA do sistema SSTT.

Para a solução desse problema deverá ser implementado no sistema SSTT *software middleware*.

Segundo o site *Middleware Resource Center* (2010, tradução nossa) o significado de *middleware* é:

Middleware é um *software* que permite que qualquer outro *software* possa interagir.

De acordo com site (WIKIPÉDIA, 2010) o significado de *middleware* é definido como um *software* que faz a mediação entre *softwares* e *softwares*, utilizado para mover ou transportar informações e dados entre programas de diferentes protocolos de comunicação, plataformas e dependências do sistema operacional. Este *software* é constituído por módulos dotados com *Application Program Interface* (API), que proporcionam a sua integração com outras aplicações desenvolvidas em diversas linguagens de programação e interfaces que permitem a sua independência relativamente ao dispositivo, que aplica-se a realidade desta concepção de projeto do SSTT na comunicação com as UTREM.

O objetivo do *middleware* é esconder a heterogeneidade por meio da disponibilização de um modelo de programação, que permite aos programadores de aplicativos efetuarem o desenvolvimento da aplicação, para compatibilizá-lo e parametrizá-lo com o processo, o qual é composto por um conjunto de processos ou objetos que interagem entre si de forma a implementar comunicação e oferecer suporte para compartilhamento de recursos a aplicativos distribuídos.

Segundo o site (WIKIPÉDIA, 2010) o *middleware* é um termo genérico utilizado para referir aos sistemas de *software* que residem e se executam entre as aplicações e os sistemas operativos, a fim de facilitar o desenvolvimento de aplicações, tipicamente às distribuídas, assim como, facilitar a integração de sistemas proprietários ou desenvolvidos de forma não integrada.

Isto posto, incorrendo em UTREM que possuam sistemas SCADA proprietários, deverá ser prevista na camada do SCADA do SSTT, o *middleware* que especificamente efetue a comunicação, a compatibilização e parametrização entre os *softwares*, objetivando o desenvolvimento dos sistemas de forma integrada.

5.4.2.3 Software do sistema de vídeo vigilância

O desenvolvimento deste item teve por base as informações da especificação técnica de um equipamento gravador digital de vídeo e imagens de Circuito Fechado de TV (CFTV) modelo DVR da empresa TECVOZ.⁹

O *software* para o sistema de vídeo vigilância deverá proporcionar transmissão de vídeo em tempo real, com funções de gravação de *streams* de vídeo para posterior reprodução e manipulação de eventos em tempo real, tais como, detecção de movimento ou sensor de ativação, incluindo alarmes, notificações, gravação automática de imagens e vídeo da cena, enquanto o evento continua.

Deverá possuir sistema de gerenciamento e detecção inteligente de movimento de vídeo e com a gravação das imagens via rede, efetuando-se de forma automatizada, tanto do *download* e gravação, para um rápido e confiável *backup* de dados no servidor de imagens. Esses registros deverão ser digitalizados, capturados com datas e hora, comprimidos e guardados no servidor de imagens do SCADA do SSTT.

Deverá possuir sistema de transmissão com alta capacidade de gravação, utilizando sistema de compressão, para envio por rede, com tecnologia *Motion Picture Experts*

⁹ Fonte: <www.projstel.com.br/tecvoz> Acesso em abr. 2010.

Group - 4 (MPEG-4) aprimorado, com velocidade de gravação de no mínimo 120 fps, que acelera as transmissões de imagens e reduz, drasticamente, o tamanho dos arquivos gravados no servidor de imagens. A transmissão deverá ser por meio de redes em protocolo TCP/IP (10/100 Mbps), comunicando com o servidor de imagens, os clientes da Central de Monitoramento da Segurança e o servidor WEB e, ter alta qualidade de vídeo por meio de uma largura de banda estreita.

O *software* deverá possibilitar habitar simultaneamente em tela de IHM, no mínimo, até 16 câmeras de vídeo.

Deverá possibilitar a transmissão de vídeo em tempo real em protocolo IP *Multicast* via rede para vários clientes do SSTT, como também, por meio do servidor de WEB, disponibilizando para os usuários autorizados da rede corporativa, de forma simultânea e, gerenciar a transmissão de dados entre servidores e com demais dispositivos do SSTT e com os equipamentos embarcados nos trens, inclusive dispondo de alarmes de perda de sinal de câmeras.

Deverá possuir recursos para edição automática de seqüências de vídeo, extrair eventos e apagar o restante para economizar memória.

O *software* deverá ter recursos de marca na gravação, a fim de permitir comprovar, que não houve nenhuma adulteração, qualquer corte ou edição na gravação, permitindo provar que se trata de gravação original.

Deverá possibilitar tamanhos de vídeo em NTSC em 640x480 e 320x240, função *Zoom - In* e *Zoom - Out* individual por câmera e, seqüencial e *zoom* de cada câmera, operando com tela cheia, com tempos de 3 a 10 s.

Recurso de gravação que utiliza a capacidade de fps do sistema, de maneira inteligente, de forma que câmeras que não estejam gravando ou, que sejam menos importantes, cedam sua capacidade para outras selecionadas e ativadas mais importantes, aumentando ao máximo o número de *frames* por segundo na gravação.

As imagens digitalizadas deverão ser armazenadas por data/hora para futuras consultas no servidor de imagens do SCADA do SSTT e a seqüência de gravação deverá ser *First In First Out* (FIFO).

Deverá possibilitar gravar arquivos de imagens em sistema de *backup* para CD-R, mídia óptica ou equivalente.

Ter recursos para possibilitar obter imagens/*frames* de eventos e imprimi-los com data e hora.

Na **Figura 13** apresenta-se um exemplo de tela para o sistema de câmeras das estações.

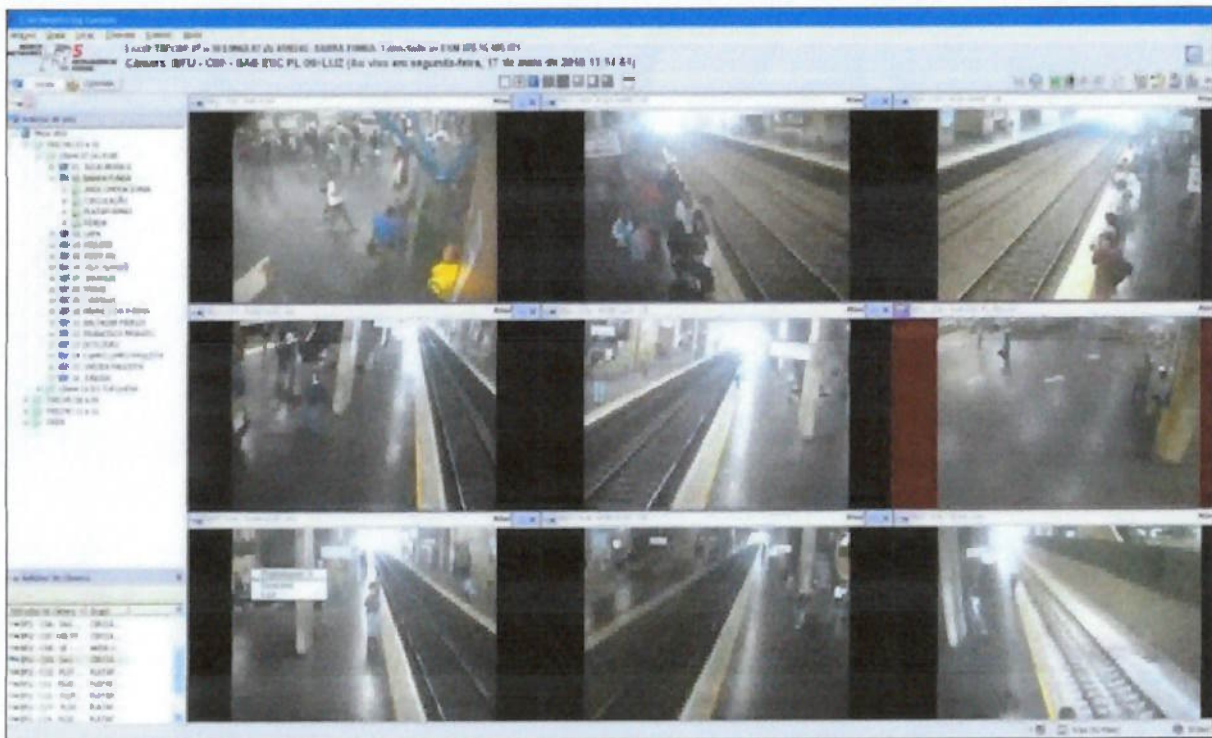


Figura 13 – Exemplo de tela de sistema de monitoramento de câmeras das estações – Fonte: Central de Monitoramento da Segurança da CPTM

Isto posto, fica detalhada a topologia do sistema fixo de monitoramento a ser implementado no Centro de Controle Operacional e a topologia do sistema móvel embarcado nos trens. Maiores detalhes da parte móvel embarcada serão descritos no próximo capítulo.

6. UTREM E O SISTEMA DE SENSORIAMENTO DE TRENS

6.1 SISTEMA SCADA DOS TRENS

Neste capítulo serão apresentados à topologia da arquitetura dos sistemas embarcados dos trens, os protocolos/mensagens de comunicação entre o SCADA e o SSTT, a definição dos parâmetros de telemetria com relação as variáveis críticas que serão monitoradas com o dimensionamento da capacidade de bps por trem que serão necessários para a transmissão de dados e imagens. Lembrando-se que as variáveis foram escolhidas com base no sistema interno de registro de falhas e nos relatórios mensais de falhas emitidos pelo setor de Engenharia de Material Rodante/Qualidade da CPTM. Escolheu-se as variáveis de acordo com sua criticidade para a Manutenção e Operação.

Considerando-se as novas aquisições de trens, deverá ser exigido que os equipamentos embarcados sejam providos de sistema supervisorio local SCADA idêntico ao do SSTT, efetuando a telemetria das variáveis críticas que a respectiva série do trem permitir. Todavia, os trens antigos continuarão convivendo com os trens de última geração e, por isso, a topologia mudará dependendo dos equipamentos existentes em cada série de trens.

Os trens modernos já possuem SCADA (Figura 14) e protocolos de comunicação proprietários e estes deverão ser adaptados por meio do uso de *middleware* para uniformizar a interface e o transporte de dados entre o SCADA do trem e o SCADA do SSTT.

Para os trens mais antigos, as informações serão enviadas ao modem por meio de equipamento aquisitor de dados específico. Os dados serão transportados diretamente para o SSTT.

Todas as imagens do sistema de vídeo vigilância deverão ser transmitidas por meio de protocolo TCP/IP com estrutura de mensagem MPEG-4.

Os dados de telemetria dos trens antigos usarão protocolo TCP/IP e, os trens modernos já utilizam protocolo TCP/IP, porém a estrutura de mensagem, como dito acima, deverá ser compatibilizada por meio de *middleware*.

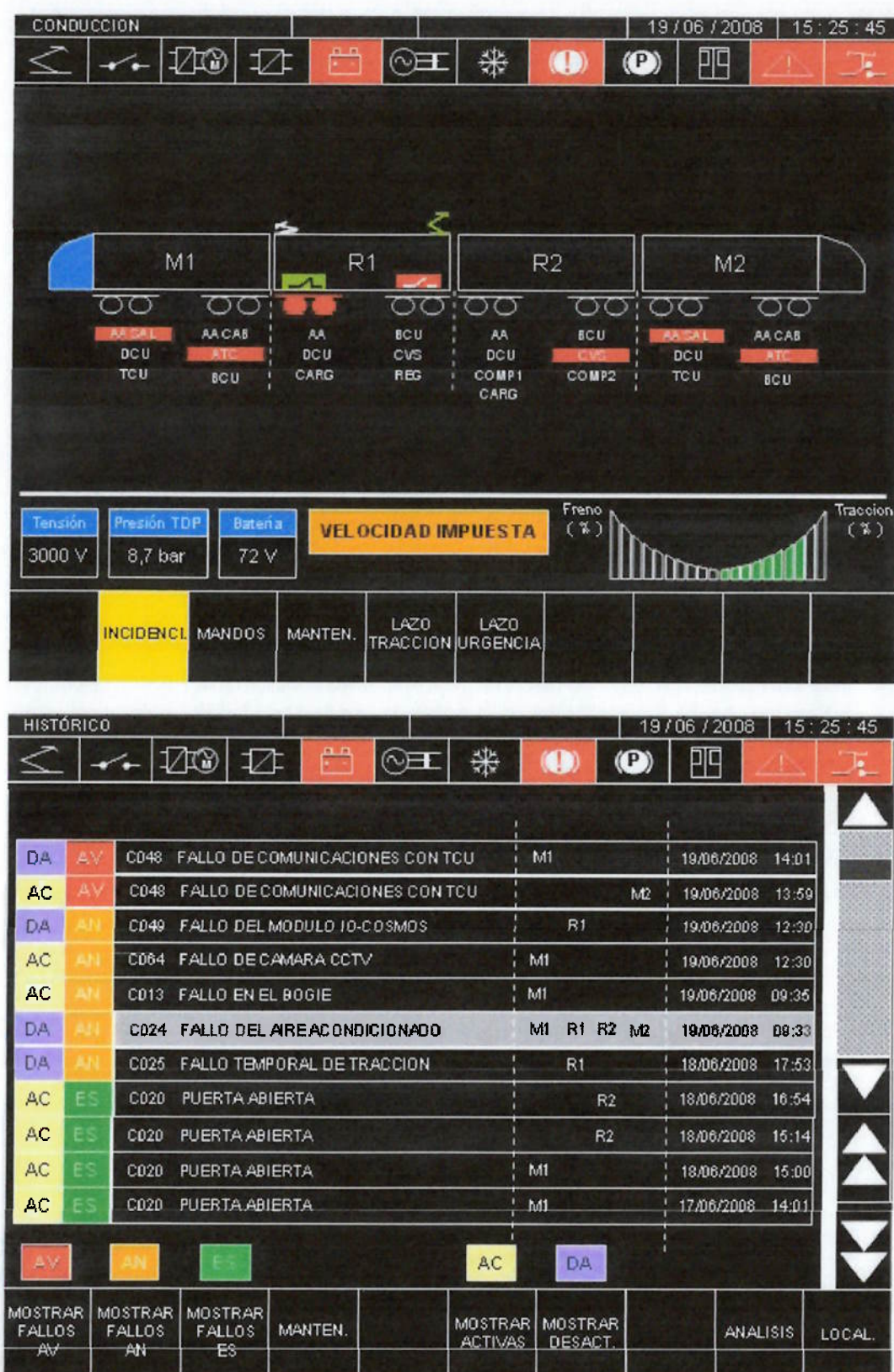


Figura 14 – Exemplo de telas do sistema SCADA do trem série 7000 da CPTM – Fonte: Manual do trem série 7000.

6.2 SISTEMA DE COMUNICAÇÃO MODBUS TCP/IP

Este item terá por base uma referência técnica de Modbus TCP/IP (*ACROMAG INCORPORATED, 2005*).

Utiliza-se o protocolo TCP/IP para transportar os dados da estrutura da mensagem em Modbus entre dispositivos compatíveis. Isto é, Modbus TCP/IP combina uma rede física (*Ethernet*), com uma rede padrão (TCP/IP) e um método padrão de representação de dados (Modbus como protocolo para aplicação). Essencialmente, uma mensagem Modbus TCP/IP é simplesmente uma comunicação Modbus encapsulada num pacote *Ethernet* TCP/IP.

Este protocolo está sendo utilizado no dispositivo aquisitor de dados para os trens que não dispõem de sistema informatizado de ocorrências e avarias em virtude de sua simplicidade, gratuidade, necessidade de pouco *hardware* e alta compatibilidade.

6.3 SISTEMAS EMBARCADOS NOS TRENS

6.3.1 Trens de séries antigas

Para os trens que não dispõem de sistema computadorizado de avarias e ocorrências, será adotado um dispositivo aquisitor de dados com interface *Ethernet*. Os transdutores dos sistemas monitorados deverão ser ligados diretamente ao dispositivo aquisitor de dados, conforme mostrado na Figura 15, cujo protocolo deverá ser ModBus TCP. Existem alguns dispositivos no mercado e a escolha da capacidade do aquisitor dependerá da necessidade. O dispositivo aquisitor deverá ser ligado via interface *Ethernet* ao modem WiMAX que se comunicará diretamente com o SCADA do SSTT.

A capacidade do sistema foi calculada levando-se em consideração a exatidão desejada para as variáveis medidas e o número de variáveis monitoradas. Por exemplo, para a transmissão da informação de velocidade necessita-se de 7 bits já que a máxima velocidade nos trens sensorizados é de 100 km/h e deseja-se uma exatidão de 1 km/h, portanto, necessita-se de, no máximo, 100 posições. Neste caso, 7 bits são suficientes para representar 128 valores e transmitir a informação de velocidade.



Figura 15 – Dispositivo aquisitor de dados com interface *Ethernet* – Fonte: NOVUS produtos eletrônicos Ltda.

Um outro exemplo é a informação de pressão do cilindro de freio. Para o trem da série 2000 fase II, por exemplo, o valor máximo de pressão no cilindro de freio é de 4 bar, portanto, necessita-se de 6 bits para transmitir essa informação com exatidão de 0,1 bar. Na Figura 16 encontra-se o transdutor de pressão utilizado pela CPTM em alguns testes de freio. Este dispositivo mede pressões numa faixa de 0 bar até 10 bar, a pressão é proporcional à corrente na saída do transdutor, corrente essa, que varia entre 4 mA e 20 mA.

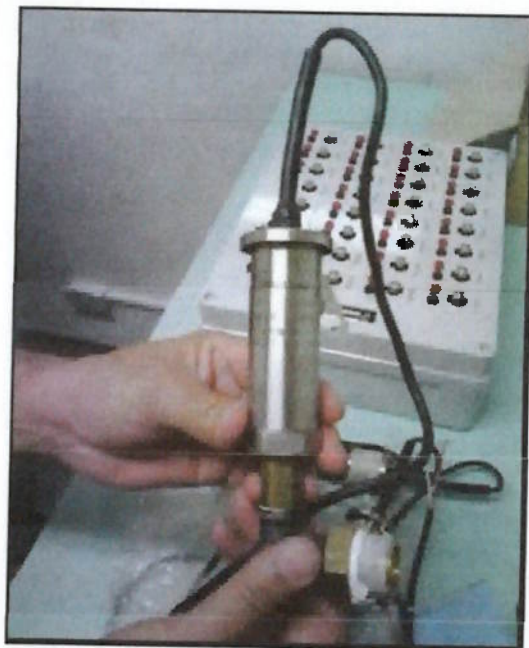


Figura 16 – Transdutor de pressão utilizado para testes de freio – Fonte: Fotografia tirada no laboratório de instrumentação de trens no Centro de Manutenção Presidente Altino – CPTM.

Considerando a proposta de projeto do sistema para os trens antigos, a topologia que será adotada se apresenta na Figura 17.

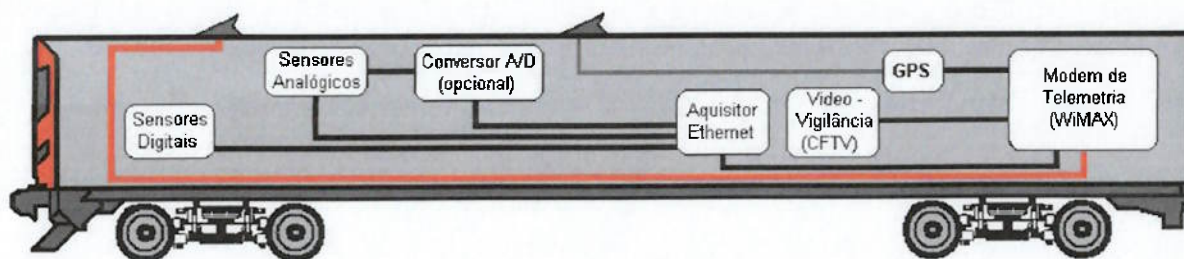


Figura 17 – Topologia básica dos sistemas embarcados para telemetria dos trens de séries antigas.

6.3.2 Trens de última geração

Para os trens que dispõem de sistema computadorizado de ocorrências e avarias, deverá utilizar o próprio sistema para adquirir os dados. Esse sistema enviará os dados ao modem de telemetria WiMAX que se comunicará com o SCADA do SSTT. Como os sistemas computadorizados de ocorrências e avarias são diferentes em função da série dos trens, cada caso deverá ser estudado juntamente com o fabricante para estabelecer qual o *middleware* que será utilizado no sistema do SSTT.

Considerando a proposta de projeto do sistema para os trens das séries mais modernas a topologia que será adotada é apresentada na Figura 18.

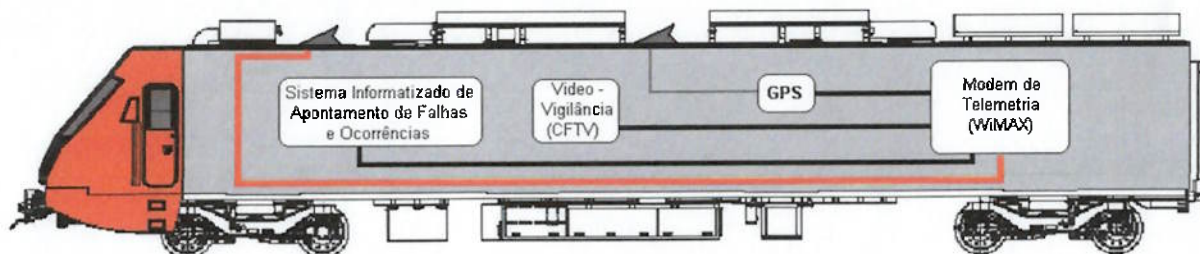


Figura 18 – Topologia básica dos sistemas embarcados para telemetria dos trens de última geração.

6.3.3 Sensoriamento do trem

A seguir serão apresentados os sistemas e as variáveis que deverão ser monitorados em virtude de sua importância na operação e manutenção.

6.3.3.1 Tração

Velocidade

Deverá ser indicado o número do trem, por exemplo, 2071-2072 e qual é o carro líder, por exemplo: 2071. A informação de velocidade deverá ser transmitida com exatidão de 1 km/h.

6.3.3.2 Alimentação principal

Tensão de linha

Deverá ser indicado o número do trem, por exemplo, 2071-2072 e qual é o carro líder, por exemplo: 2071. A informação de tensão de linha deverá ser transmitida com exatidão de 10 V.

6.3.3.3 Alimentação auxiliar – conversor estático

Falha do equipamento

Deverá ser indicado o número do trem, por exemplo, 2071-2072 e qual é o carro líder, por exemplo: 2071. Deverão ser enviadas informações de falhas relevantes no sistema, ou seja, as que causem degradação efetiva. A classificação da gravidade das falhas deverá ser efetuada levando-se em consideração a diversidade dos componentes.

6.3.3.4 Tração e frenagem

Esforço trator

Deverá ser indicado o número do trem, por exemplo, 2071-2072 e qual é o carro líder, por exemplo: 2072. O esforço trator será medido em uma escala que vai de 0 até +1. A informação a ser enviada deverá ter exatidão de +0,1.

Esforço de frenagem

Deverá ser indicado o número do trem, por exemplo, 2071-2072 e qual é o carro líder, por exemplo: 2071. O esforço de frenagem é medido em uma escala que vai de 0 até -1. A informação a ser enviada deverá ter exatidão de -0,1.

6.3.3.5 Freio pneumático

Pressão do cilindro de freio

Deverá ser indicado o número do trem, por exemplo, 2071-2072 e qual é o carro líder, por exemplo: 2071. A informação a ser enviada deverá ter exatidão de 0,1 bar numa faixa que vai de 0 bar até 04 bar.

6.3.3.6 Produção de ar

Pressão do encanamento principal

Deverá ser indicado o número do trem, por exemplo, 2071-2072 e qual é o carro líder, por exemplo: 2071. A informação a ser enviada deverá ter exatidão de 0,1 bar numa faixa que vai de 0 bar até 13 bar.

6.3.3.7 Portas

Falha do equipamento

Deverá ser indicado o número do trem, por exemplo, 2071-2072 e qual é o carro líder, por exemplo: 2071. Deverão ser enviadas informações de falhas relevantes no sistema, ou seja, as que causem degradação efetiva. A classificação da gravidade das falhas deverá ser efetuada levando-se em consideração a diversidade dos componentes.

6.3.3.8 Refrigeração

Falha do equipamento

Deverá ser indicado o número do trem, por exemplo, 2071-2072 e qual é o carro líder, por exemplo: 2071. Deverão ser enviadas informações de falhas relevantes no sistema, ou seja, as que causem degradação efetiva. A classificação da gravidade das falhas deverá ser efetuada levando-se em consideração a diversidade dos componentes.

6.3.3.9 Vídeo vigilância

Considerando-se imagens padrão para sistemas de vídeo vigilância, cada câmera consumirá uma banda de 1 Mbps. Essa capacidade é suficiente para transmitir imagem de alta qualidade.

6.3.3.10 Rastreamento via satélite

O sistema deverá incluir um módulo GPS que, acoplado ao sistema de telemetria, enviará os dados de localização das unidades.

6.3.4 Capacidade

6.3.4.1 Identificação do trem

Considerando a máscara XXXX-YYYY para identificar a composição, ZZZZ para identificar o carro líder onde ZZZZ = XXXX ou ZZZZ = YYYY e XX para identificar o sistema em falha, necessita-se de 15 bits para identificação completa.

6.3.4.2 Tração

Velocidade

Para exatidão de 1 km/h, considerando-se 100 km/h como velocidade máxima, necessita-se de 7 bits, ou seja, $2^7 = 128$ posições.

6.3.4.3 Alimentação principal

Tensão de linha

Para exatidão de 10 V, considerando-se 4500 V como tensão máxima, necessita-se de 9 bits, ou seja, $2^9 = 512$ posições.

6.3.4.4 Alimentação auxiliar – conversor estático

Falha do equipamento

Considera-se que o sistema enviará somente as falhas com gravidade média ou alta, ou seja, 5 bits ou $2^5 = 32$ posições serão suficientes.

6.3.4.5 Tração e freio

Esforço trator

Para exatidão de 0,1, considerando-se 1 como valor máximo, necessita-se de 10 posições mais a posição do sinal (positivo), ou seja, 11 posições. 4 bits serão suficientes.

Esforço de Frenagem

Para exatidão de 0,1, considerando-se 1 como valor máximo, necessita-se de 10 posições mais a posição do sinal (negativo), ou seja, 11 posições. 4 bits serão suficientes.

6.3.4.6 Freio pneumático

Pressão do cilindro de freio

Para exatidão de 0,1 bar, considerando-se pressão máxima no cilindro de freio de 4 bar, necessita-se de 40 posições, portanto, 6 bits serão suficientes.

6.3.4.7 Produção de ar

Pressão do encanamento principal

Para exatidão de 0,1 bar, considerando-se pressão máxima no encanamento principal de 13 bar, necessita-se de 130 posições, portanto, 8 bits serão suficientes.

6.3.4.8 Portas

Falha do equipamento

Considera-se que o sistema de portas enviará somente as falhas com gravidade média ou alta, ou seja, 5 bits ou $2^5 = 32$ posições serão suficientes.

6.3.4.9 Refrigeração

Falha do equipamento

Considera-se que o sistema de refrigeração enviará somente as falhas com gravidade média ou alta, ou seja, 5 bits ou $2^5 = 32$ posições serão suficientes.

6.3.4.10 Vídeo vigilância

Considera-se 1 Mbps de demanda de banda para cada câmera. Serão transmitidas simultaneamente imagens de até 4 câmeras, portanto, tem-se uma demanda de 4 Mbps por trem.

6.3.4.11 Módulo GPS

O módulo GPS enviará informação com a máscara da coordenada geográfica $XX^{\circ}XX'XX.XX''X - XX^{\circ}XX'XX.XX''X$, portanto necessitaremos de 5 bits para representação da coordenada.

A partir da análise das variáveis e da sistematização dos dados na Tabela 11, conclui-se que serão necessários pouco mais de 20 Mbps para transmissão de todas as informações considerando-se 5 trens na área de abrangência da célula.

O número máximo de trens cobertos por cada célula do sistema de transmissão WiMAX móvel que será dimensionado no próximo capítulo será cinco unidades, cujo dado foi obtido por meio da análise da grade horária dos trens em circulação utilizada pela CPTM na condição mais crítica, ou seja, no horário de maior pico. Em alguns pontos, como, por exemplo, no centro da cidade de São Paulo, esse número poderá chegar a sete unidades, porém tal situação foi contornada com a implementação de mais antenas nessa região.

Tabela 11 – Capacidade – Demanda total por variável e por série de trem

SÉRIE	DEMANDA TOTAL POR VARIÁVEL (bps)											TOTAL (bps)
	Velocidade	Tensão de Linha	Alimentação Auxiliar	Esforço Trator	Esforço de Frenagem	Pressão do Cilindro de Freio	Pressão do Encanamento Principal	Portas	Refrigeração	GPS	Vídeo vigilância (4 câmeras / trem)	
1100	7	9				6	8			5	4.000.000	4.000.035
1400	7	9				6	8			5	4.000.000	4.000.035
1600	7	9				6	8			5	4.000.000	4.000.035
1700	7	9				6	8			5	4.000.000	4.000.035
2000	7	9	5	4	4	6	8	5	5	5	4.000.000	4.000.058
2000 FASE II	7	9	5	4	4	6	8	5	5	5	4.000.000	4.000.058
2100	7	9	5	4	4	6	8	5	5	5	4.000.000	4.000.058
3000	7	9	5	4	4	6	8	5	5	5	4.000.000	4.000.058
4400	7	9				6	8			5	4.000.000	4.000.035
5000	7	9				6	8			5	4.000.000	4.000.035
5500	7	9				6	8			5	4.000.000	4.000.035
5500 FASE II	7	9				6	8			5	4.000.000	4.000.035
7000	7	9	5	4	4	6	8	5	5	5	4.000.000	4.000.058

Com as informações expostas neste capítulo, encerra-se o detalhamento dos cálculos de demanda para cada trem e para a frota.

7. DIMENSIONAMENTO DA REDE WiMAX MÓVEL PADRÃO IEEE STANDARD 802.16-2009

Neste capítulo será apresentada a concepção da proposição do projeto do sistema de transmissão de dados e imagens sem fio, com o dimensionamento da rede WiMAX móvel que deverá ser aplicada para a CPTM, o qual será efetuado, a título de demonstração da metodologia, por meio da realização de uma simulação do dimensionamento da rede na Linha 7, cuja escolha contempla todas as possibilidades e diversidades que poderão ser encontradas nas demais Linhas. Para isto, no desenvolvimento do assunto serão apresentados os métodos de propagação e a respectiva escolha pela utilização do método Erceg expandido, considerando os problemas de desvanecimento do sinal em virtude do *fading* por conta da velocidade e do *Handover* entre células.

Este capítulo terá por base a dissertação de mestrado de Goes (2009), a dissertação de mestrado de Moura (2009) e a consulta ao livro *Fundamentals of WiMAX Understanding Broadband Wireless Networking* (Andrews; Ghosh; Muhamed, 2007, tradução nossa).

7.1 MÉTODO DE PROPAGAÇÃO

Em pesquisas realizadas para a escolha do método de propagação para ser utilizado na simulação, deve-se levar em consideração qual será o mais adequado para se obter os dados mais próximos possíveis da realidade, considerando os aspectos da transmissão de dados na condição móvel e a respectiva velocidade, a topografia e uso do terreno (área de propagação), o percurso, a distância entre células, a demanda e o carregamento do sinal, a capacidade do sistema, a banda da frequência que será utilizada e os problemas de desvanecimento do sinal.

Em função disso, existem diversos métodos para se realizar a simulação do dimensionamento de redes WiMAX, os quais se dividem em duas categorias: empíricos, baseados em medidas que conduzem às relações simples entre atenuação e a distância e, teóricos, baseados em modelos matemáticos que descrevem um comportamento do sinal. No entanto não existe um modelo de aplicação genérico que contemple todos os tipos de ambientes, frequências e parâmetros. Assim, atualmente, são utilizados modelos híbridos que contemplam as

particularidades intrínsecas de cada um dos modelos, empírico e teórico (GOES, 2009, p. 32).

Um dos fatores críticos para dimensionamento das células é exatamente a topografia do terreno pelo qual o sinal será transmitido, pois as perdas variam significativamente e, em função disto, para efeito do uso do modelo, é usual classificar os terrenos em três categorias: urbanos, suburbanos e rurais.

Um dos modelos mais conhecidos é o Okumura-Hata (ERCEG et al. 1999, tradução nossa), cuja modelagem é empírica, baseado em medidas de banda e topografia, todavia, para este trabalho, este modelo não poderá ser aplicado, pois somente é válido para frequências de até, no máximo, 1.500 MHz, que não atende as necessidades desse projeto.

Existem também outros modelos equivalentes, tais como os modelos de Ikegami-Walfisch (ERCEG et al. 2001, tradução nossa), de Shadowing (GOES, 2008, p. 3) e o Erceg expandido (GOES, 2008, p. 3). Dentre estas três possibilidades, no desenvolvimento da investigação e comparação de qual seria o mais adequado, chegou-se ao modelo Erceg expandido, haja vista que se trata de um modelo empírico, porém mais rigoroso que traz diversas características de medidas em campo, traduzindo melhor o universo de propagação em cada um dos ambientes.

Segundo WiMAX Fórum (2006) e Andrews; Ghosh; Muhamed (2007) apud Goes (2009, p. 34):

Estritamente falando do WiMAX móvel, adota-se normalmente o modelo de ERCEG, como recomendado pelo WiMAX Fórum (WIMAX FORUM, 2006).

Este modelo é mais apropriado à simulação de aplicações envolvendo sistemas WiMAX devido às características envolvendo modulação OFDM, assim como apontado em ANDREWS J., GHOSH A., MUHAMED R., 2007.

Para a escolha do método de propagação levaram-se em consideração parâmetros como altura das antenas da estação base e móvel, frequência da portadora, e distância entre células. O único modelo que atende essa simulação da rede WiMAX móvel é o modelo o Erceg expandido, pelos motivos acima expostos e também pela possibilidade de simular na frequência de 3.500 MHz, banda escolhida para este trabalho.

A seguir, é apresentada em detalhes, a modelagem do Erceg expandido segundo demonstrada por (ERCEG, 1992) apud (GOES 2009, p. 34 a 36) e com base em (ANDREWS; GHOSH; MUHAMED, 2007, p. 424 a 426, tradução nossa).

A versão Erceg expandido teve como base uma versão anterior chamada modelo de Erceg, a qual é válida somente para frequências próximas a 1.900 MHz, com altura

de antenas de 2 m para o terminal móvel e, de 10 a 80 m para a estação base (BS), dada pela expressão (1):

$$PL = E + 10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X \quad (1)$$

Este modelo básico foi expandido efetuando-se a correção por meio de fatores para possibilitar trabalhar com frequências maiores, dando origem a uma expressão mais ampla, denominado modelo de ERCEG expandido (2):

$$PL = E + 10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X + \Delta PL_f + \Delta PL_{hMS} + \Delta PL_{\theta MS} \quad (2)$$

Como "d" é a distância entre o terminal e a BS; "d₀" é a distância de referência e "X" é uma variável aleatória normal (YACOUB, 1993) apud (GOES, 2009, p. 34), cujo desvio padrão depende do tipo de ambiente e, a variável de ambiente "b" é, dada por (3), sendo "h_b" a altura da antena na BS:

$$\beta = \left(A - B h_b + \frac{C}{h_b} \right) + x \sigma_x \quad (3)$$

Os valores de "A", "B", "C" e "σ_x" estão definidos na Tabela 12 para determinar o tipo de ambiente que melhor se aproxima, no qual o sinal será propagado.

Tabela 12 – Parâmetros para classificação do ambiente no modelo de ERCEG – Fonte: Goes (2009, p. 34).

PARÂMETROS	URBANO	SUBURBANO	RURAL
A	4,6	4,0	3,6
B	0,0075	0,0065	0,005
C	12,6	17,1	20
σ_x	2,3	3,0	1,6

Além disso, pode-se definir que "E" é a perda no espaço livre e pode ser dado por (4), sendo "f" a frequência em Hz e "c" a velocidade da luz em m/s:

$$E = 20 \log\left(\frac{4\pi d_0 f}{c}\right) \quad (4)$$

A expressão (5) determina as perdas devido à frequência:

$$\Delta PL_f = 6 \log\left(\frac{f}{1900}\right) \quad (5)$$

A expressão (6) determina as perdas devido à altura do terminal.

$$\Delta PL_{hMS} = -10,8 \log\left(\frac{h_m}{2}\right) \quad (6)$$

A expressão (7) determina as perdas devido ao espalhamento angular, sendo, “ θ ” o ângulo de abertura da antena no setor, considerando que quanto mais diretiva for a antena menor será o ganho em dBi.

$$\Delta PL_{\theta MS} = 0,64 \ln\left(\frac{\theta}{360}\right) + 0,54 \left(\ln\left(\frac{\theta}{360}\right)\right)^2 \quad (7)$$

Por fim, mediante ao exposto, a versão expandida do modelo Erceg é válida para os seguintes parâmetros:

$$\begin{cases} 1900 \text{ MHz} \leq f \leq 3500 \text{ MHz} \\ 10 \text{ m} \leq h_b \leq 80 \text{ m} \\ 1,5 \text{ m} \leq h_m \leq 10 \text{ m} \\ 0,1 \text{ km} \leq d \leq 8 \text{ km} \end{cases}$$

A Figura 19 apresenta os gráficos segundo modelo Erceg expandido (ERCEG, 1992) apud (GOES, 2009, p. 36) nos ambientes urbano, suburbano e rural, respectivamente para cálculo de atenuação do sinal, combinado com a equação de Friis para determinar a potência calculada no receptor (HAYKIN; MOHR, 2005) apud (GOES, 2009, p. 36).

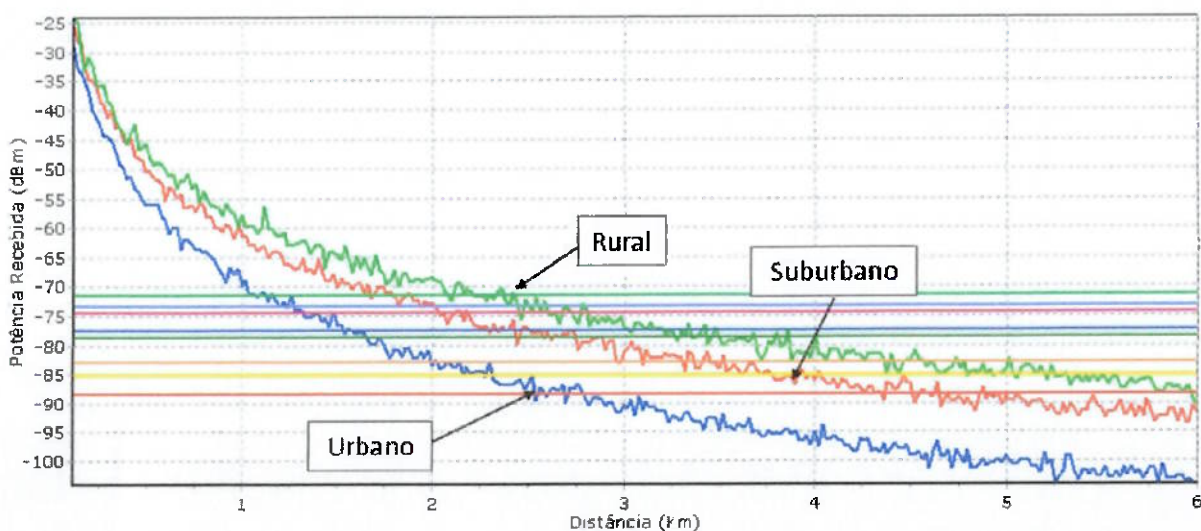


Figura 19 – Perda na propagação segundo modelo de Erceg expandido – Fonte: Goes (2009, p. 36). Na Figura 20 se apresenta um exemplo de um mapa com os diferentes níveis de modulação, que permitem ter uma visão da propagação, onde os usuários da área mais clara terão uma taxa mais baixa comparada com as demais áreas (GOES,

2009, p. 38). As modulações QPSK, 16QAM e 64QAM são utilizadas pelo WiMAX e possuem taxas de codificação de 1/2, 2/3, 3/4 e 5/6 que estão distribuídas conforme se observa na Figura 20, proporcionando durante uma conexão entre o móvel (UTREM) e a BS, quando ocorre uma degradação no nível de sinal, que o sistema mantenha a qualidade da conexão, reduzindo a taxa de transmissão.

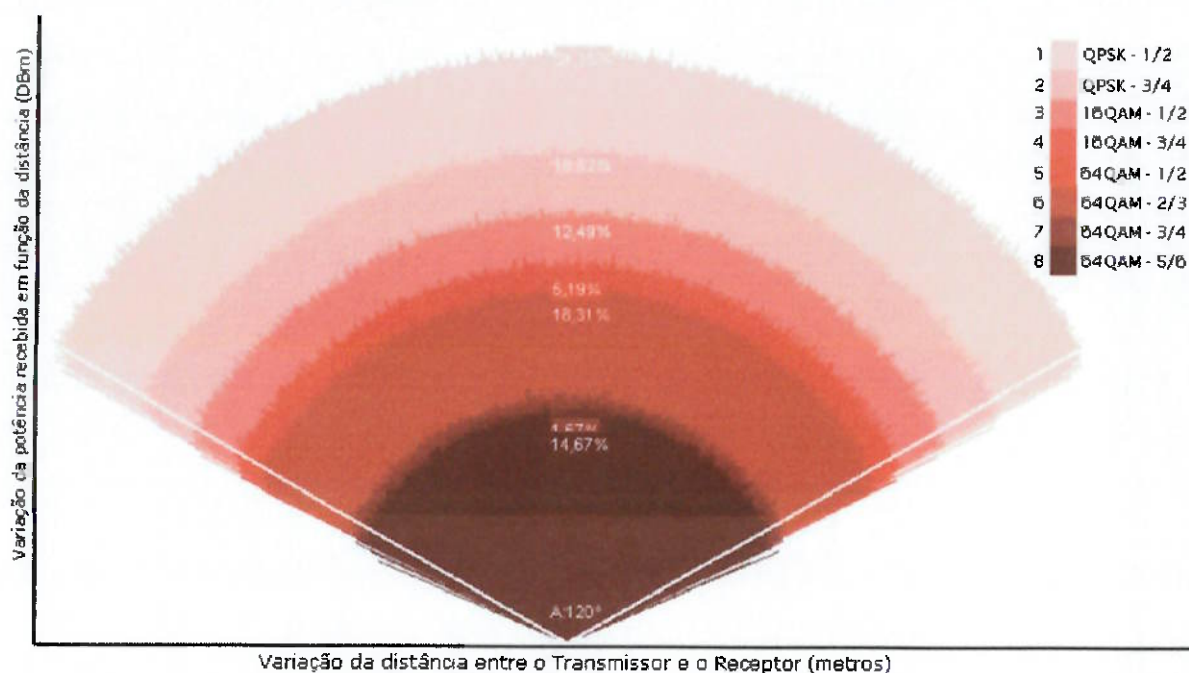


Figura 20 – Níveis de modulação aplicados à área de propagação – Fonte: Goes (2009, p. 38).

7.1.1 Modelo *Handover* proposto segundo (GOES, 2009)

Para a realização da simulação, objetivando determinar a distância entre células em função da propagação do sinal deverão ser considerados os efeitos do processo de *Handover* (HO).

O processo de HO ocorre praticamente em todos os sistemas móveis. Esse processo ocorre na migração do sinal de uma estação móvel (MS) na região de intersecção dos sinais entre as células (entre duas estações bases (BS)). O sistema verifica o nível do sinal transmitido pela MS e decide a mudança de sua conexão de uma BS para outra, realizando o HO (GOES, 2009, p. 40).

Para efeito deste trabalho será adotada a metodologia do "HO proposto" demonstrado por (GOES, 2009, p. 41 e 42). O processo de HO convencional não considera a disponibilidade das BS e, em virtude disso, foi necessário incluir um fator que represente a quantidade de taxa que poderá ser compartilhada nas células

vizinhas, cuja atribuição desse fator se dá de maneira empírica. Este fator é uma correção para refletir o peso do fator disponibilidade.

Baseado no modelo de HO proposto por (GOES, 2009, p. 41 e 42), o *handover* é realizado analisando-se os níveis de *Signal Strength* (SS) entre a MS e a BS, porém, a mudança de BS será determinada de acordo com o nível de modulação desejado no sentido *UPLINK*, nesse caso em 64QAM-5/6, equivalente a 71,5 dB, conforme (GOES, 2009, p. 37). A Figura 21 mostra um exemplo do processo do HO, onde o móvel ao ter o nível de sinal reduzido a um determinado valor especificado inicia o processo de *handover*, negociando entre as duas BS adjacentes a manutenção da conexão/comutação antes do sinal atingir o nível mínimo, caso contrário, causaria a sua interrupção.

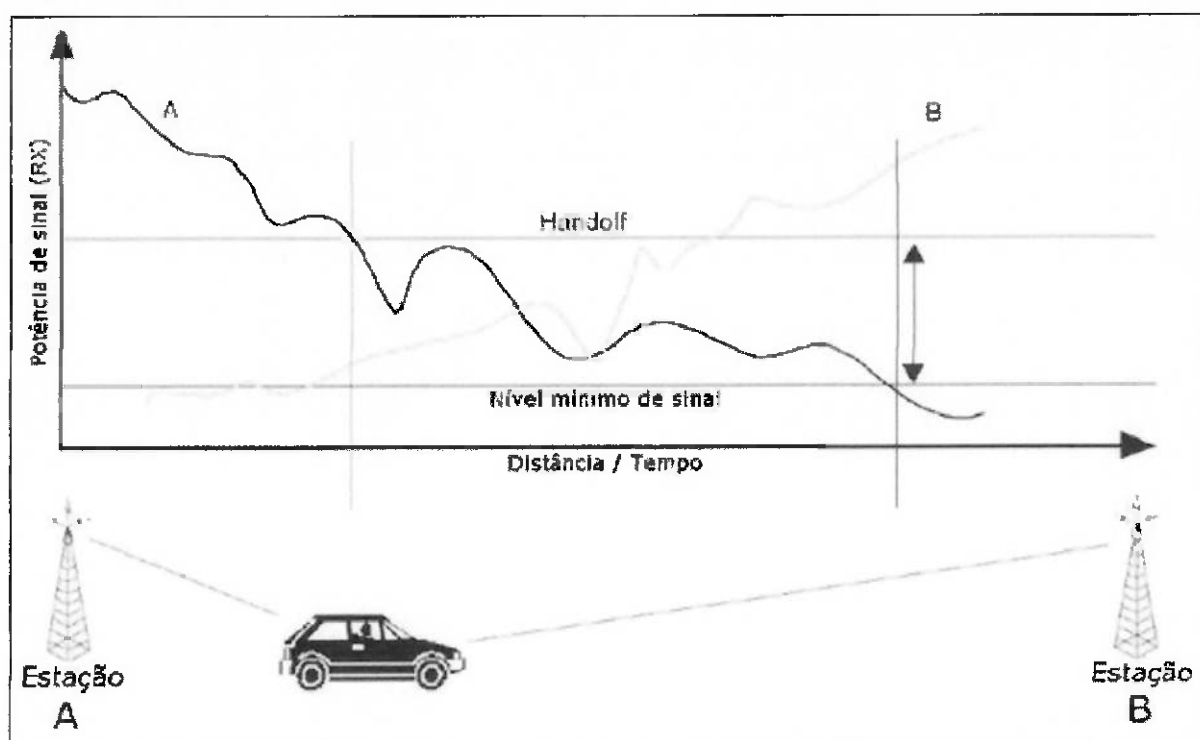


Figura 21 – Detecção de *Handover* (HO) baseado no nível de sinal – Fonte: (ANDREWS; GHOSH; MUHAMED, 2007) apud Goes (2009, p. 40).

7.1.2 Modelo de *Fading*

Conforme explicado por (RUNARSDOTTIR, 2008, p. 40 e 41, tradução nossa), em sistemas móveis as condições do *link* de transmissão sofrem alterações e, a intensidade do sinal passa a variar em função do tempo, desviando-se em torno de um valor médio. Quando as ondas eletromagnéticas encontram obstáculos em seu caminho no ar, elas podem se dispersar e percorrer vários caminhos até atingir o receptor. Com isso, as porções dispersas do sinal chegam a instantes de tempos

diferentes no receptor e são afetadas de diferentes maneiras, conforme o ambiente e a velocidade de deslocamento. Este problema é chamado de *fading* e refere-se às variações do sinal recebido no tempo, devido às mudanças no trajeto ou no meio, que o sinal percorreu. O *fading* é dividido em “*fading* de pequena escala” (também chamado *multipath fading* ou *fast fading*) e em “*fading* de grande escala” (também chamado de *shadowing* ou *slow fading*).

O desvanecimento em pequena escala acontece por causa de pequenas obstruções no caminho de propagação ou pequenos movimentos da estação móvel. O desvanecimento em grande escala acontece em virtude de grandes movimentos ou grandes obstáculos no caminho de propagação.

No cálculo do *link* apenas uma margem de desvanecimento é dada e deve incluir tanto o desvanecimento rápido como o lento (um móvel não pode mover-se rápido e lento ao mesmo tempo, mas poderá encontrar obstáculos de diferentes tamanhos).

Para analisar os efeitos de *fading*, modelos matemáticos são utilizados, porém não foi o objeto deste estudo. A distribuição *shadow fading* é geralmente modelada como uma distribuição log-normal que descreve a variação do valor de decibéis do sinal, em média, como uma distribuição normal ou de *Gauss*. O *Multipath fading* normalmente é modelado utilizando-se as distribuições *Ricean* ou *Rayleigh* levando a um valor da margem total considerado para o WiMAX móvel de 9 dB, segundo (RUNARSDOTTIR, 2008, p. 40 e 41, tradução nossa).

De acordo com o livro de (ANDREWS; GHOSH; MUHAMED; 2007, p. 424, tradução nossa) é recomendado pelo WiMAX Fórum uma margem de desvanecimento de 10 dB, quando utilizado o método de cálculo conhecido como “Hata COST 231”. Como o método adotado para este estudo foi o Erceg expandido e por se tratarem de métodos semelhantes, que se diferem apenas pelas faixas de frequências para o qual foram desenvolvidos, adotou-se para este estudo uma margem de desvanecimento de 10 dB.

7.1.3 Classificação dos terrenos nas Linhas da CPTM

Com base nos dados obtidos por meio do *software Google Earth Pro*, foi possível realizar um mapeamento das áreas onde existem Linhas da CPTM e classificá-las conforme as características dos terrenos em ambientes urbano, suburbano e rural, como podemos observar da Tabela 13 à Tabela 18, em especial a Linha 7 que será objeto deste estudo.

Tabela 13 – Classificação da área e distância entre estações da Linha 7

TRECHO	DISTÂNCIA (km)	CLASSIFICAÇÃO
Brás – Luz	2,251	Urbano
Luz – Palmeiras-Barra Funda	3,686	Urbano
Palmeiras-Barra Funda – Água Branca	2,275	Urbano
Água Branca – Lapa	1,650	Urbano
Lapa – Piqueri	2,078	Urbano
Piqueri – Pirituba	1,989	Urbano
Pirituba – Vila Clarice	2,958	Suburbano
Vila Clarice – Jaraguá	1,985	Suburbano
Jaraguá – Perus	6,408	Suburbano
Perus – Caieiras	4,579	Suburbano
Caieiras – Franco da Rocha	5,274	Suburbano
Franco da Rocha - Baltazar Fidélis	2,199	Suburbano
Baltazar Fidélis – Francisco Morato	3,852	Suburbano
Francisco Morato – Botujuru	6,612	Suburbano
Botujuru – Campo Limpo Paulista	3,882	Suburbano
Campo Limpo Paulista – Várzea Paulista	5,860	Suburbano
Várzea Paulista – Jundiaí	5,169	Suburbano
DISTÂNCIA TOTAL DE PONTA A PONTA	59,749	

Tabela 14 – Classificação da área e distância entre estações da Linha 8

TRECHO	DISTÂNCIA (km)	CLASSIFICAÇÃO
Brás – Julio Prestes	2,680	Urbano
Júlio Prestes – Palmeiras-Barra Funda	2,968	Urbano
Palmeiras-Barra Funda – Lapa	3,353	Urbano
Lapa – Domingos de Moraes	2,477	Urbano
Domingos de Moraes – Imperatriz Leopoldina	1,809	Urbano
Imperatriz Leopoldina – Presidente Altino	2,922	Urbano
Presidente Altino – Osasco	1,699	Urbano
Osasco – Comandante Sampaio	2,307	Urbano
Comandante Sampaio – Quitaúna	1,131	Suburbano
Quitaúna – General Miguel Costa	0,693	Suburbano
General Miguel Costa – Carapicuíba	2,360	Suburbano
Carapicuíba – Santa Terezinha	1,367	Suburbano
Santa Terezinha – Antônio João	1,161	Suburbano
Antônio João – Barueri	2,087	Suburbano
Barueri – Jardim Belval	1,793	Suburbano
Jardim Belval – Jardim Silveira	1,173	Suburbano
Jardim Silveira – Jandira	1,129	Suburbano
Jandira – Sagrado Coração	1,615	Suburbano
Sagrado Coração – Engenheiro Cardoso	1,559	Suburbano
Engenheiro Cardoso – Itapevi	1,680	Suburbano
Itapevi – Santa Rita	2,060	Suburbano
Santa Rita – Cimenrita	0,738	Suburbano
Cimenrita – Ambuitá	2,146	Suburbano
Ambuitá – Amador Bueno	1,394	Suburbano
DISTÂNCIA TOTAL DE PONTA A PONTA	44,301	

Tabela 15 – Classificação da área e distância entre estações da Linha 9

TRECHO	DISTÂNCIA (km)	CLASSIFICAÇÃO
Osasco – Presidente Altino	1,699	Urbano
Presidente Altino – Ceasa	0,907	Urbano
Ceasa – Villa Lobos Jaguaré	1,323	Urbano
Villa Lobos Jaguaré – Cidade Universitária	2,519	Urbano
Cidade Universitária – Pinheiros	1,413	Urbano
Pinheiros – Hebraica Rebouças	0,926	Urbano
Hebraica Rebouças – Cidade Jardim	1,554	Urbano
Cidade Jardim – Vila Olímpia	1,008	Urbano
Vila Olímpia – Berrini	1,296	Urbano
Berrini – Morumbi	1,891	Urbano
Morumbi – Granja Julieta	1,291	Urbano
Granja Julieta – Santo Amaro	3,882	Urbano
Santo Amaro – Socorro	1,130	Urbano
Socorro – Jurubatuba	1,813	Urbano
Jurubatuba – Autódromo	4,100	Urbano
Autódromo – Primavera Interlagos	1,900	Urbano
Primavera Interlagos – Grajaú	2,400	Urbano
DISTÂNCIA TOTAL DE PONTA A PONTA	31,052	

Tabela 16 – Classificação da área e distância entre estações da Linha 10

TRECHO	DISTÂNCIA (km)	CLASSIFICAÇÃO
Luz – Brás	2,243	Urbano
Brás – Mooca	1,718	Urbano
Mooca – Ipiranga	2,995	Urbano
Ipiranga – Tamanduateí	1,498	Urbano
Tamanduateí – São Caetano	2,680	Urbano
São Caetano – Utinga	3,373	Urbano
Utinga – Prefeito Saladino	1,430	Urbano
Prefeito Saladino – Santo André	1,795	Urbano
Santo André – Capuava	4,222	Urbano
Capuava – Mauá	3,244	Urbano
Mauá – Guapituba	3,048	Urbano
Guapituba – Ribeirão Pires	4,538	Suburbano
Ribeirão Pires – Rio Grande da Serra	4,419	Suburbano
DISTÂNCIA TOTAL DE PONTA A PONTA	37,203	

Tabela 17 – Classificação da área e distância entre estações da Linha 11

TRECHO	DISTÂNCIA (km)	CLASSIFICAÇÃO
Luz – Brás	2,243	urbano
Brás – Tatuapé	4,336	urbano
Tatuapé – Corinthians Itaquera	11,595	urbano
Corinthians Itaquera – Dom Bosco	2,389	urbano
Dom Bosco – José Bonifácio	1,764	urbano
José Bonifácio – Guaianazes	1,691	Urbano
Guaianazes – Antônio Gianetti Neto	3,712	Urbano
Antônio Gianetti Neto – Ferraz de Vasconcelos	2,343	Urbano
Ferraz de Vasconcelos – Poá	3,074	Urbano
Poá - Calmon Viana	1,213	Urbano
Calmon Viana – Suzano	2,699	Suburbano
Suzano – Jundiapéba	5,339	Suburbano
Jundiapéba – Braz Cubas	3,495	Suburbano
Braz Cubas – Mogi das Cruzes	3,265	Suburbano
Mogi das Cruzes – Estudantes	1,483	Urbano
DISTÂNCIA TOTAL DE PONTA A PONTA	50,641	

Tabela 18 – Classificação da área e distância entre estações da Linha 12

TRECHO	DISTÂNCIA (km)	CLASSIFICAÇÃO
Brás – Tatuapé	4,336	Urbano
Tatuapé – Engenheiro Goulart	8,856	Urbano
Engenheiro Goulart – USP Leste	4,668	Urbano
USP Leste – Comendador Ermelino	4,760	Urbano
Comendador Ermelino – São Miguel Paulista	4,089	Urbano
São Miguel Paulista – Jardim Helena Vila Mara	4,089	Urbano
Jardim Helena Vila Mara – Itaim Paulista		
Itaim Paulista – Jardim Romano	3,953	Urbano
Jardim Romano – Engenheiro Manoel Feio	2,396	Suburbano
Engenheiro Manoel Feio – Itaquaquecetuba	2,647	Suburbano
Itaquaquecetuba – Aracaré	3,117	Suburbano
Aracaré – Calmon Viana		
DISTÂNCIA TOTAL DE PONTA A PONTA	38,822	

7.2 SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO – CÁLCULO DO LINK BUDGET DAS ESTAÇÕES BASE PARA A LINHA 7 DA CPTM

Para concepção deste projeto selecionou-se a Linha 7 da CPTM (Luz - Jundiá). O dimensionamento das demais Linhas (8, 9, 10, 11 e 12) é análogo, evidentemente, respeitando-se as classificações dos terrenos.

Para dimensionamento do sistema de transmissão de dados, baseado na tecnologia WiMAX padrão IEEE *Standard* 802.16e e no modelo Erceg expandido, levou-se em consideração:

- que a ferrovia possui traçado bem definido;
- que as estações base serão instaladas nas estações de trens, quando possível, de maneira a permitir o *handover* adequado e aproveitar a infraestrutura existente;
- o gráfico horário dos trens nas condições da circulação em horário de pico, situação mais crítica quanto ao carregamento do sistema, sendo considerado o número máximo de trens cobertos por cada célula do sistema de transmissão WiMAX móvel de cinco unidades e, na região próxima ao centro da cidade de São Paulo, sendo considerado o número máximo de sete trens;
- a capacidade total do sistema sendo considerada a transmissão de vídeo, a telemetria e o rastreamento, conforme dados apresentados na Tabela 11;
- a demanda de 4.000.058 bps por trem (condição mais crítica);
- a modulação adequada para a capacidade calculada, sendo considerado que o sistema deverá estar configurado, de acordo com o processo do HO proposto por (GOES, 2009, p. 41 e 42), conforme descrito no item 7.1.1 deste trabalho, fixando o nível de modulação desejado em 64QAM-5/6;
- as perdas em virtude da classificação dos terrenos;
- as perdas em virtude do meio de transmissão (ar);
- as perdas do *fading* em virtude da velocidade de deslocamento do trem (até 120 km/h);
- que a frequência escolhida (3.500 MHz) deverá ser autorizada pela ANATEL conforme resolução nº. 537, de 17 de fevereiro de 2010;
- que será necessária a aquisição de três frequências para uso nas BS, sendo considerado que as antenas deverão ser do tipo *beamforming* defasadas 120 graus umas das outras.

Dois casos foram analisados e serão demonstrados a seguir, o primeiro utilizando-se torres com 15 m de altura e, o segundo, torres de 30 m de altura.

Como se sabe, o sistema de transmissão WiMAX é baseado na tecnologia celular *duplex*, portanto, é necessário que seja realizado o cálculo da potência recebida para *downlink* e *uplink* de maneira a ter-se uma estimativa do raio da célula, da distância entre as BS e o número de BS, para atender uma determinada região.

Na Figura 22 é demonstrado o cálculo chamado de *Link Budget*, o qual fornece a atenuação sofrida pelo sinal transmitido entre a BS e a UTREM (MS) no sentido *downlink* e *uplink*.

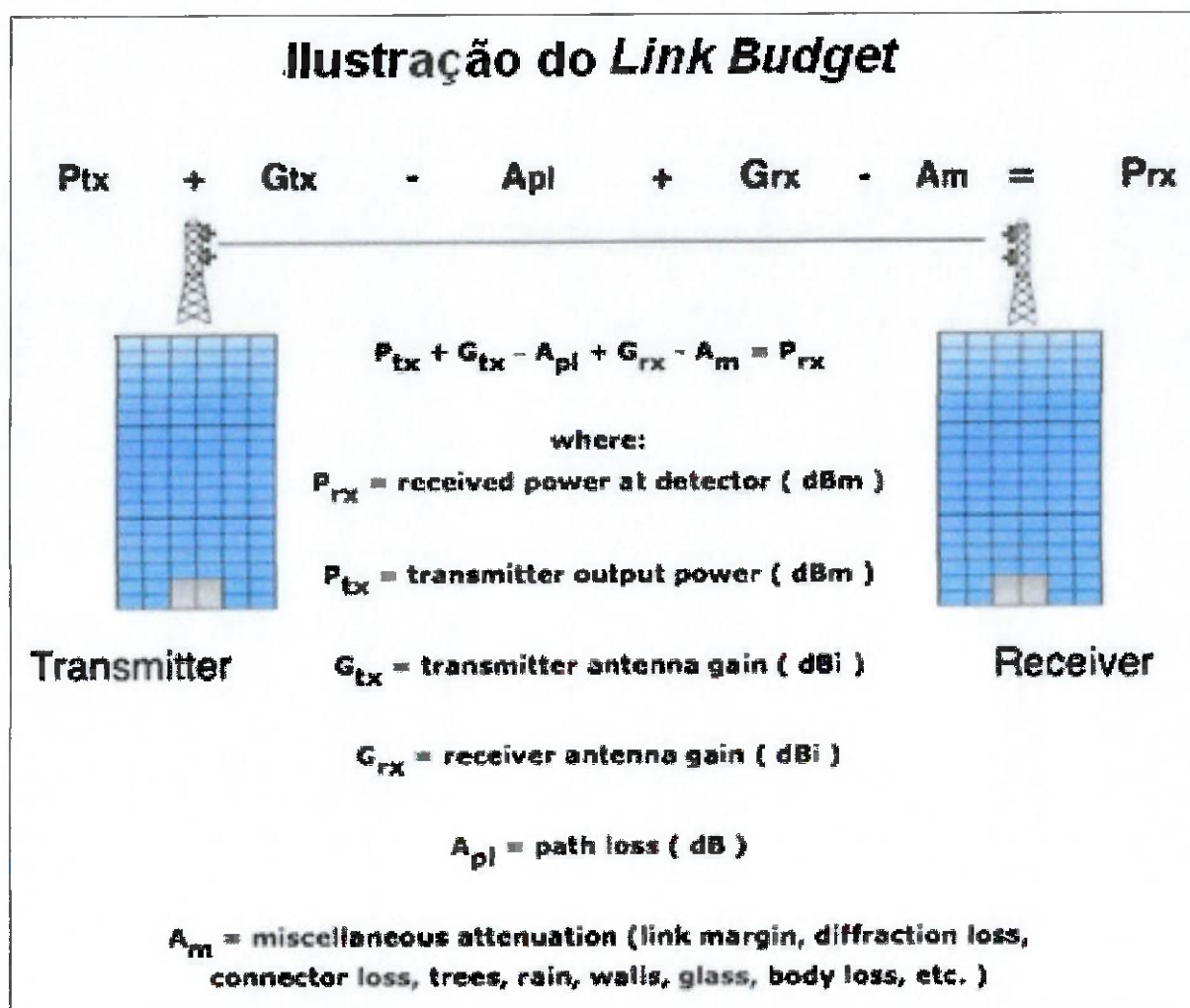


Figura 22 – Esquemático e método de cálculo do *Link Budget* – Fonte: http://www.wimax.com/education/wimax/site_survey>. Acesso em: 18 mar. 2010.

A Tabela 19 apresenta os dados técnicos obtidos a partir dos manuais de equipamentos de ponta atualmente existentes no mercado mundial como, por exemplo, os equipamentos *BreezeMax® 3650* da empresa Alvarion¹⁰, utilizados na simulação dos cálculos do *Link Budget*.

¹⁰ Equipamento modelo *BreezeMax® 3650* – Fonte: www.alvarion.com – Catálogo extraído em abr. 2010

Tabela 19 – Dados técnicos do equipamento *BreezeMax® 3650* – Fonte: Alvarion

PARÂMETROS	VALOR	UNIDADE	DESCRIÇÃO
h_{b1}	15	m	Altura da antena da Estação base (BS ₁)
h_{b2}	30	m	Altura da antena da Estação base (BS ₂)
h_m	5	m	Altura da antena da UTREM
d_0	100	m	Distância de referência
c	299.792.458	m/s	Velocidade da luz
f	3.500	MHz	Frequência de operação
Θ_{ant}	120	°	Ângulo de abertura da antena
π	3,14159265		Número Pi
PT_{XBS}	37	dBm	Potência de Transmissão da Estação base
G_{tBS}	17	dBi	Ganho da Recepção da Estação base
PT_{XMS}	20	dBm	Potência de transmissão da UTREM
G_{rMS}	17	dBi	Ganho de recepção da UTREM
A_m	10	dB	Perda por margem por <i>Fading</i>

A Figura 23 ilustra o equipamento *BreezeMAX® 3650* da empresa Alvarion.



Figura 23 – Equipamento *BreezeMax® 3650* - Fonte: <<http://www.alvarion.com>>. Acesso em abr. 2010.

As perdas nos cabos/conectores foram desconsideradas. Foram consideradas atenuações em virtude do *fading* do deslocamento do trem nas velocidades operacionais da CPTM.

A taxa de dados necessária foi obtida utilizando-se o sistema de modulação adaptativa e para este projeto trabalhou-se com modulação 64QAM-5/6 com o *Covolutional Turbo Code* (CTC), aumentando a eficiência na taxa de transmissão conforme descrito por (MOURA 2009, p. 41). Estimou-se a distância mínima entre BS para atingir taxas mínimas de transmissão de 31,68 Mbps no *downlink* (DL) e 23,52 Mbps no *uplink* (UL), conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.** considerando intersecção entre células e o *handover* adequado.

Tabela 20 – Taxa de dados para a modulação adaptativa – Fonte: (WiMAX Forum, 2006)

PARÂMETROS		DOWNLINK	UPLINK	DOWNLINK	UPLINK
Largura do Canal		5 MHz		10 MHz	
Tamanho da FTT		512		1024	
Subportadoras Nulas		92	104	184	184
Subportadoras Pilotos		60	136	120	280
Subportadoras de Dados		360	272	720	560
Subcanais		15	17	30	35
Período dos símbolos - Ts		102,9 µs			
Duração dos Quadros		5 ms			
Símbolos OFDM por Quadro		48			
Símbolos OFDM de Dados por Quadro		44			
		5 MHz Channel		10 MHz Channel	
Mod.	Code Rate	DOWNLINK Rate, Mbps	UPLINK Rate, Mbps	DOWNLINK Rate, Mbps	UPLINK Rate, Mbps
QPSK	1/2 CTC. 6x	0,53	0,38	1,06	0,78
	1/2 CTC. 4x	0,79	0,57	1,58	1,18
	1/2 CTC. 2x	1,58	1,14	3,17	2,35
	1/2 CTC. 1x	3,17	2,28	6,34	4,70
	3/4 CTC	4,75	3,43	9,50	7,06
16QAM	1/2 CTC	6,34	4,57	12,67	9,41
	3/4 CTC	9,50	6,85	19,01	14,11
64QAM	1/2 CTC	9,50	6,85	19,01	14,11
	2/3 CTC	12,67	9,14	25,34	18,82
	3/4 CTC	14,26	10,28	28,51	21,17
	5/6 CTC	15,84	11,42	31,68	23,52

Como pode ser observado na Tabela 20 acima temos uma maior taxa de transmissão no sentido *downlink* em relação à taxa de transmissão no sentido *uplink*, portanto será necessária a utilização de técnicas de modulação para oferecer maior taxa no sentido de *uplink*, visto que a maior demanda para transmissão se dará das UTREMs para as BS. Isto é possível utilizando razões de DL/UL de 2:3.

7.2.1 Cálculo para o *Link Budget*

Na Figura 24 mostra-se a simulação dos cálculos em uma planilha utilizando-se o software *Microsoft Office Excel* para os ambientes urbano, suburbano e rural. Foram utilizadas as fórmulas correspondentes à modelagem do Erceg expandido, segundo demonstrado por (ERCEG, 1992) apud (GOES 2009, p. 34 a 36) e apresentado no item 7.1 deste estudo.

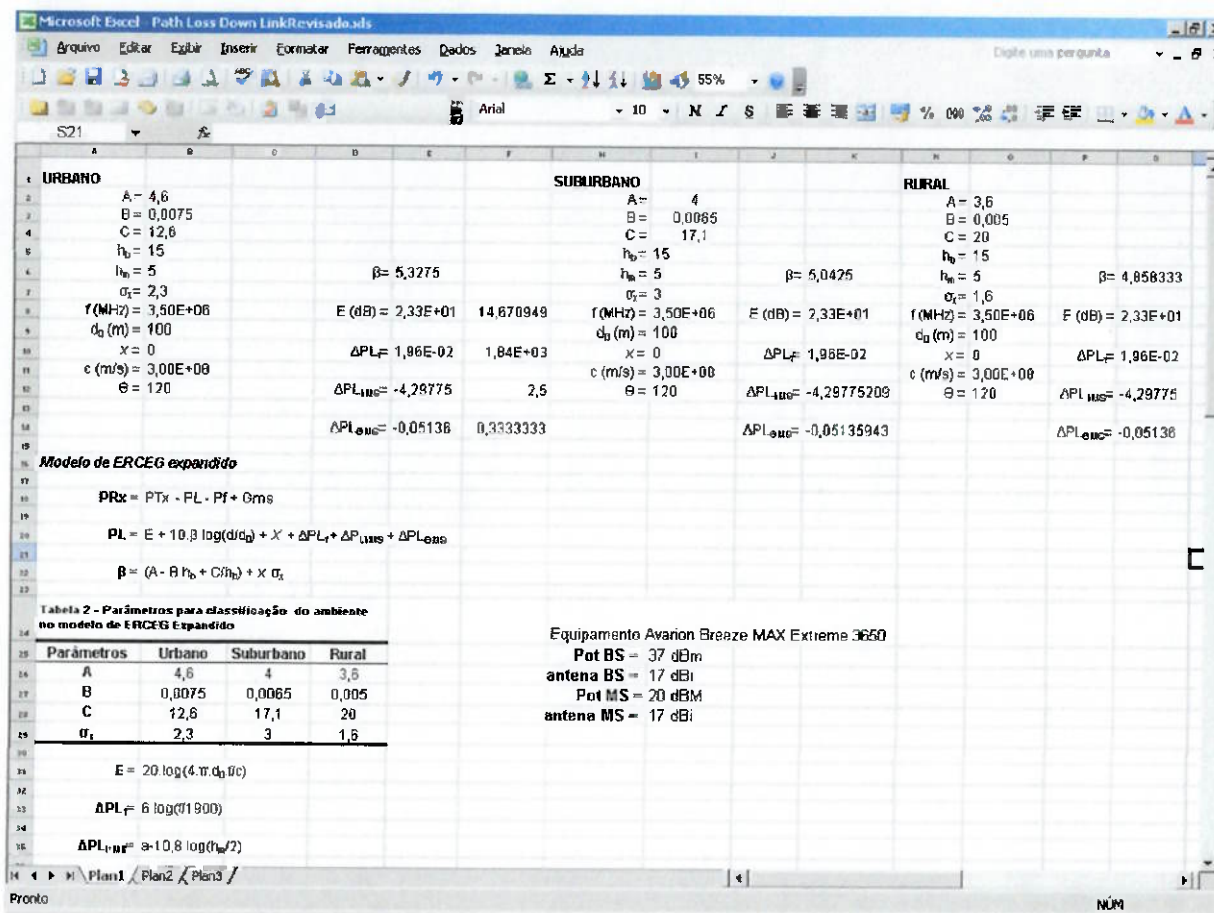


Figura 24 – Planilha Excel utilizada nos cálculos do *Link Budget*

No Gráfico 1 e no Gráfico 2 apresentam-se as curvas resultantes de potência recebida em dBm pela antena do trem nos ambientes urbano, suburbano e rural em função da distância, utilizando-se para isto uma antena instalada na estação base com altura de 15 m. Adotada para este projeto a linha horizontal de interesse em modulação 64 QAM-5/6 cruzando com as curvas de potência recebida para cada ambiente, por exemplo, para ambiente urbano poderá ser observado um alcance de aproximadamente 6 km para DL e de 3 km para UL e para ambiente suburbano de 8 km para DL e de 3,7 km para UL.

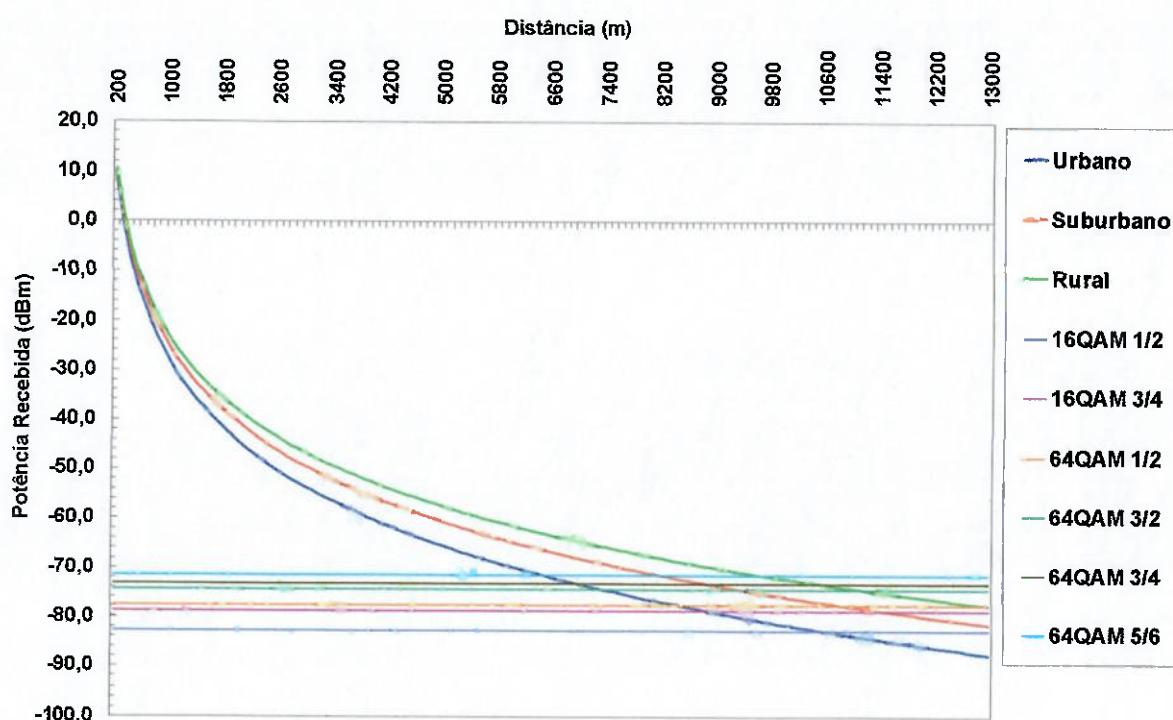


Gráfico 1 – Potência recebida (*DOWNLINK*) para BS de 15 m.

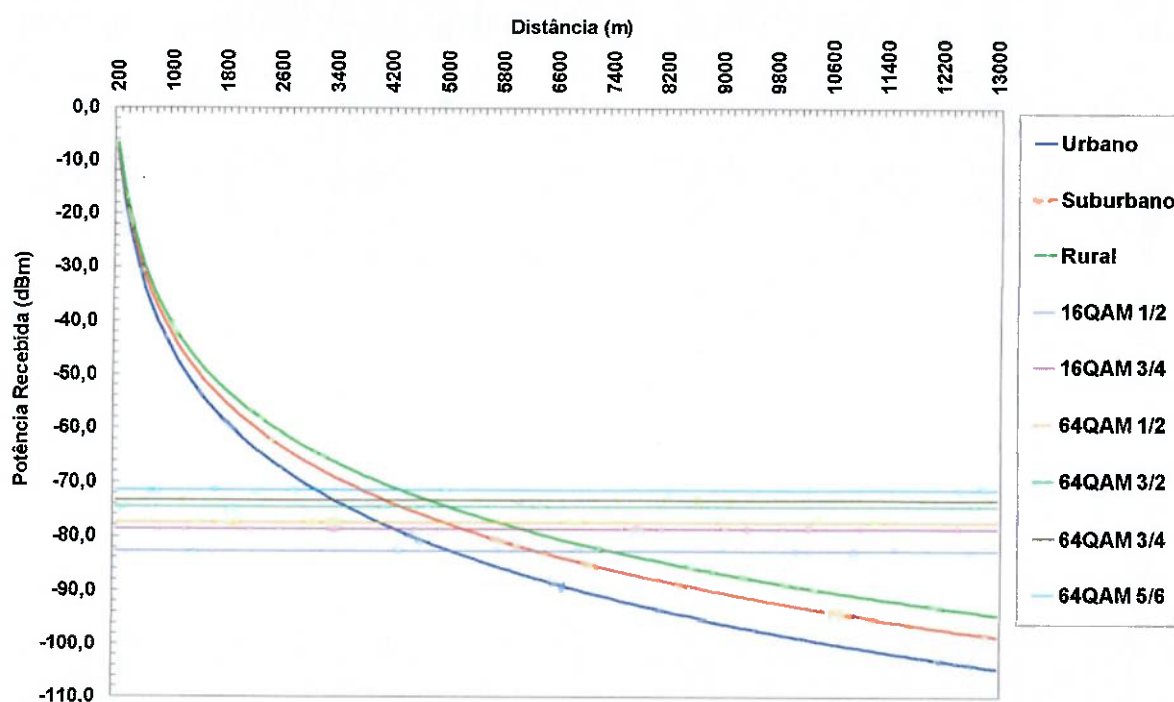


Gráfico 2 – Potência recebida (*UPLINK*) para BS de 15 m.

No Gráfico 3 e no Gráfico 4 apresentam-se os resultados de potência recebida em dBm pela antena do trem nos ambientes urbano, suburbano e rural em função da distância, utilizando-se para isto uma antena instalada na estação base com altura de 30 m. Adotada para este projeto a linha horizontal de interesse em modulação 64

QAM-5/6 cruzando com as curvas de potência recebida para cada ambiente, por exemplo, para ambiente urbano poderá ser observado um alcance de aproximadamente 10 km para DL e de 4,5 km para UL e para ambiente suburbano de 15 km para DL e de 6,0 km para UL.

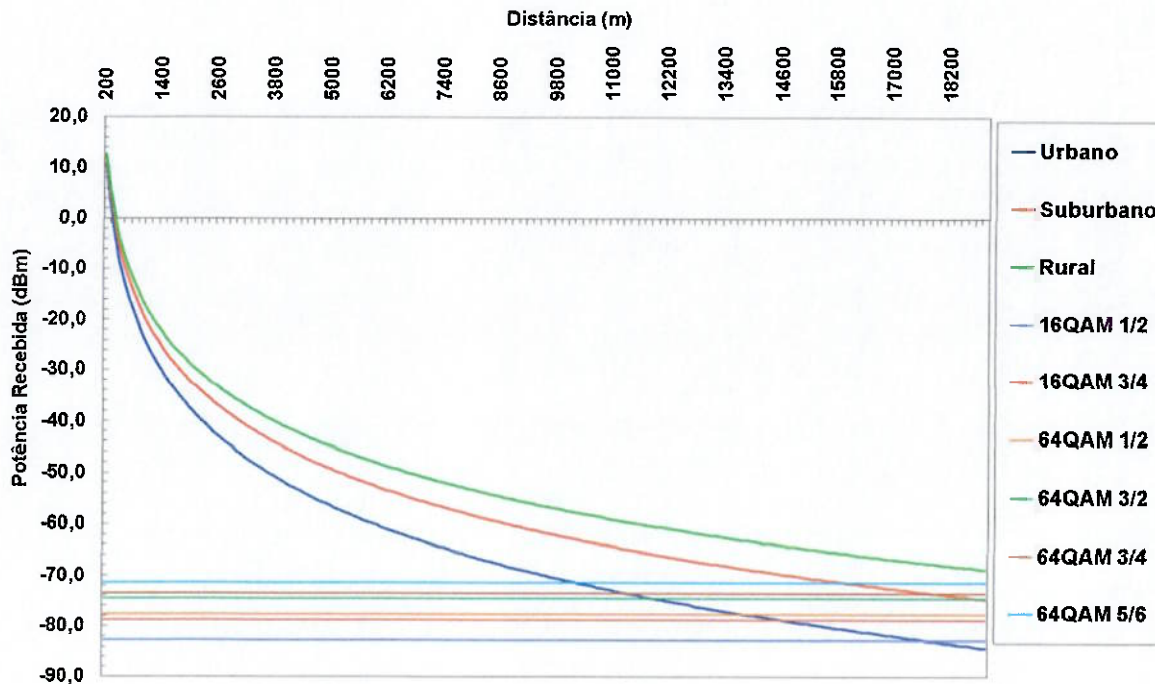


Gráfico 3 – Potência recebida (DOWNLINK) para BS de 30 m.

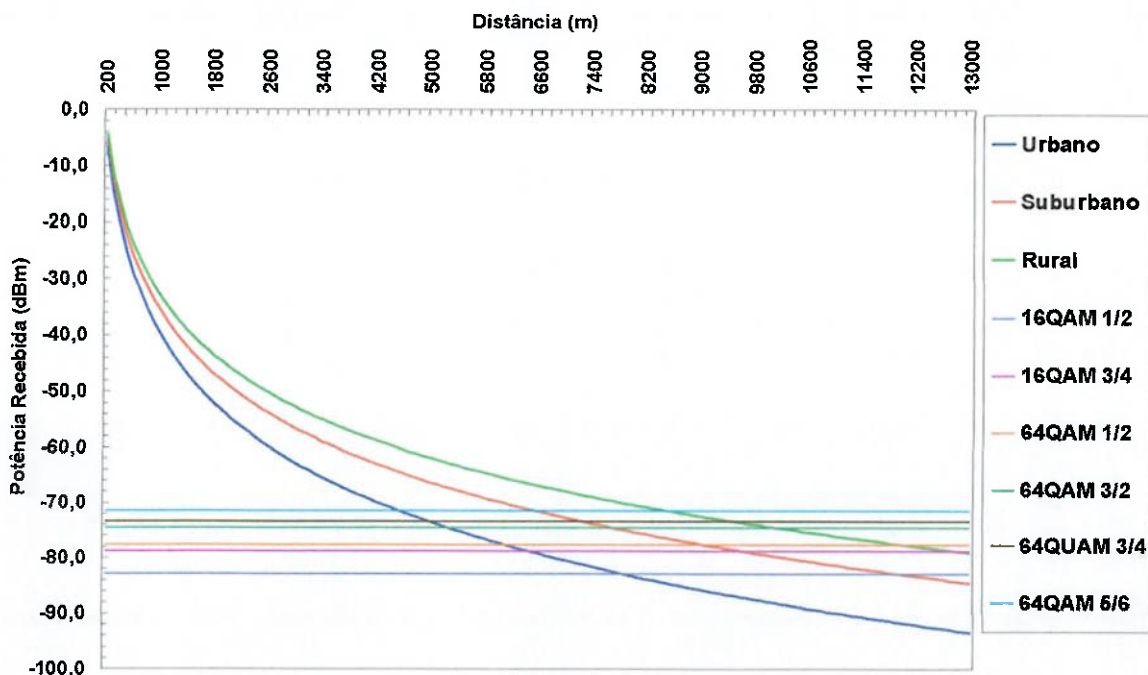


Gráfico 4 – Potência recebida (UPLINK) para BS de 30 m.

7.2.2 Área de cobertura e quantidade de BS para a Linha 7 da CPTM

A determinação da área de cobertura se efetua por meio da análise dos gráficos obtidos a partir do cálculo do *Link Budget*, cujo processo se dá, sendo considerada a curva configurada para o sistema, atendendo o pré-requisito do processo do HO proposto por (GOES, 2009, p. 41 e 42), conforme descrito no item 7.1.1 deste trabalho, fixando-lhe o nível de modulação desejado, como o mínimo admissível em 64QAM-5/6, ou seja, o limiar do nível de modulação do sistema que determinará o raio da área de cobertura da célula. Assim sendo, analisando-se o gráfico, o encontro dos eixos das abscissas "x" e "y" (0;0) corresponde a posição de referência da instalação da BS1; adota-se a curva do nível de modulação 64QAM-5/6, a qual está desenhada paralela ao eixo da abscissa "x" do gráfico, que determina o nível de potência máxima admissível recebida pelo MS (UTREM), no limite tangencial da área de cobertura, quando cruza o eixo da abscissa "y" do gráfico. Com curva 64QAM-5/6 desenhada, esta também determinará o ponto de intersecção com a curva correspondente a evolução do desvanecimento do sinal, conforme a classificação do terreno (urbano, suburbano ou rural). No ponto encontrado, projeta-se uma linha paralela ao eixo da abscissa "y" do gráfico, que irá encontrar outro ponto no eixo da abscissa "x" do gráfico, cujo respectivo novo ponto encontrado corresponde à distância máxima, em metros, do raio de cobertura (distância entre o local da instalação da BS1 e o limite tangencial da área de cobertura), estabelecendo-se o raio de cobertura da transmissão.

Para determinar a posição da próxima BS adjacente, posterior, à primeira BS calculada, efetua-se o mesmo processo de cálculo. A sua posição será determinada adotando-se, por exemplo, a BS8 iniciando em Jundiaí (JUN) como referência fixa (a primeira BS calculada), deve-se distanciar da BS7 - Campo Limpo Paulista (CLP) (a segunda calculada) até que ocorra a intersecção das circunferências das respectivas áreas de cobertura entre essas células, cuja região de intersecção tenha a distância equivalente e, em sobreposição, ocupando um quarto do raio das células na modulação 64QAM-5/6, situação esta que determinará a posição da instalação da BS7-CLP. Para a determinação da posição da BS6 - Francisco Morato (FMO) efetua-se o mesmo procedimento, só que neste caso, deve-se adotar a BS7-CLP como a nova referência fixa. Esta região de intersecção corresponde à zona em que ocorrerá a qualquer momento o processo de *handover*, além de atender a condição

Na Figura 26 pode-se observar a área de abrangência da BS2 localizada na estação Barra Funda na modulação 64QAM-5/6.

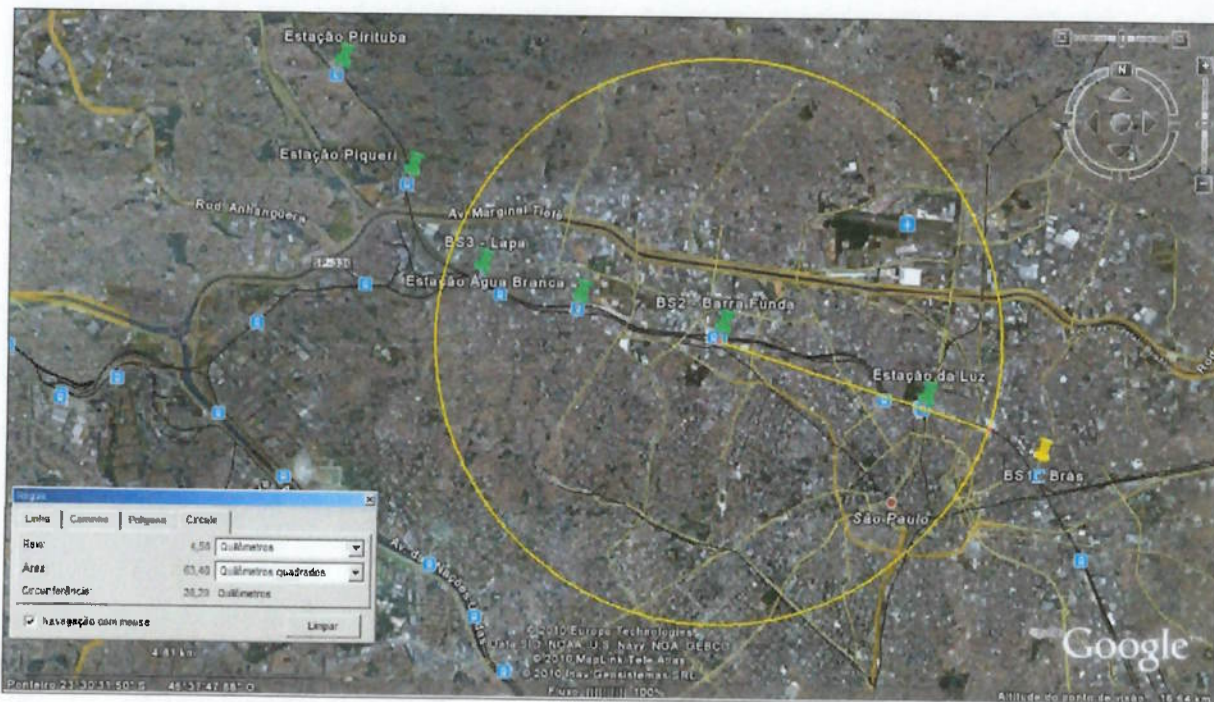


Figura 26 – Área de cobertura da Estação Base Barra Funda (BS2) – Área Urbana

Na Figura 27 pode-se observar a área de abrangência da BS3 localizada na estação Lapa na modulação 64QAM-5/6.

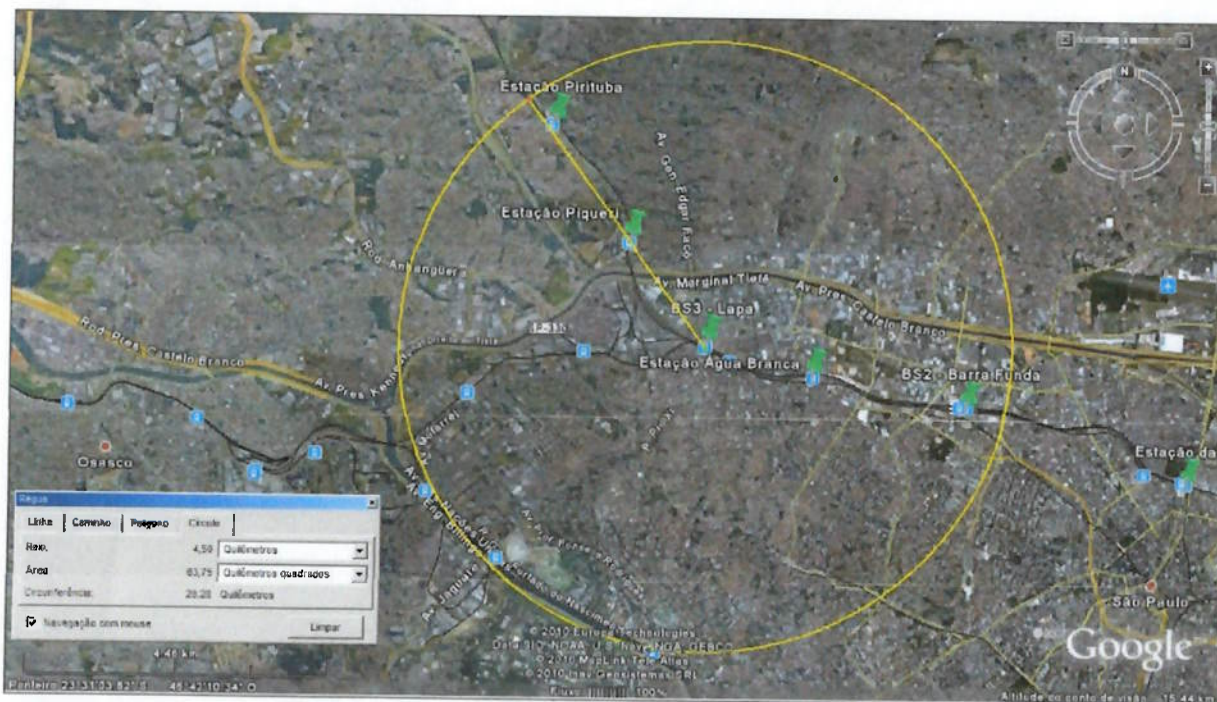


Figura 27 – Área de cobertura da Estação Base Lapa (BS3) – Área Urbana

Na Figura 28 pode-se observar a área de abrangência da BS4 localizada na estação Jaraguá na modulação 64QAM-5/6.

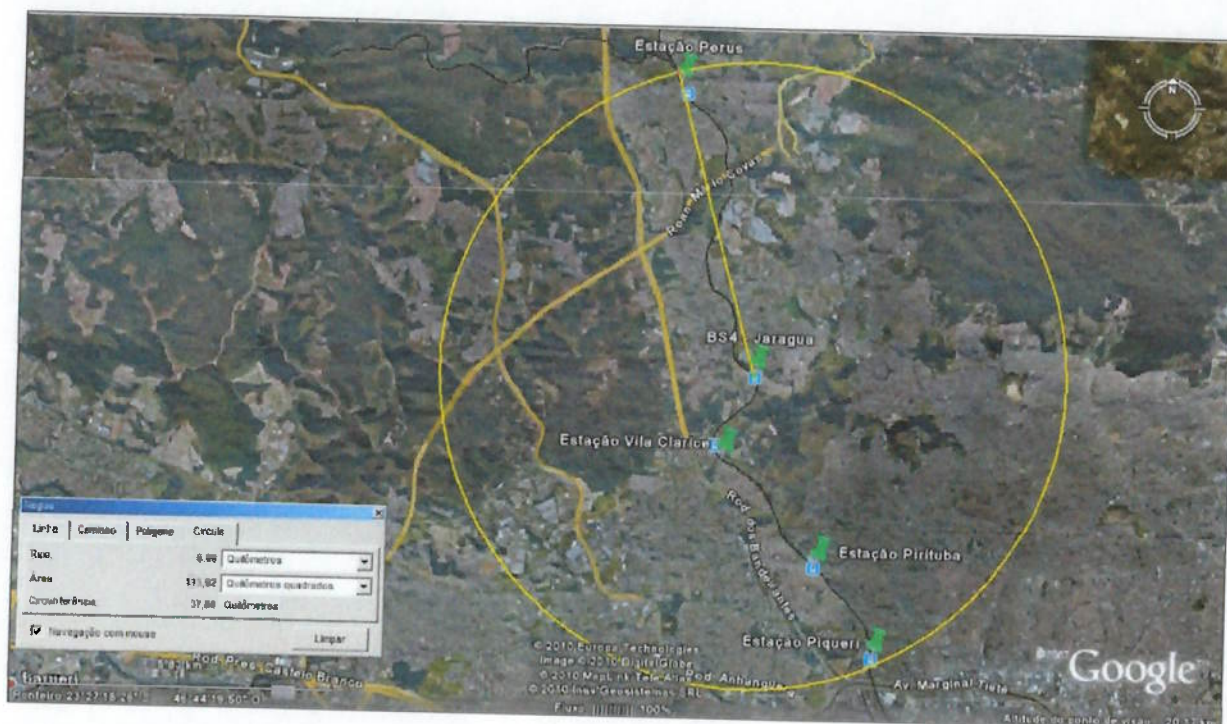


Figura 28 – Área de cobertura da Estação Base Jaraguá (BS4) – Área Suburbana

Na Figura 29 pode-se observar a área de abrangência da BS5 localizada na estação Caieiras na modulação 64QAM-5/6.

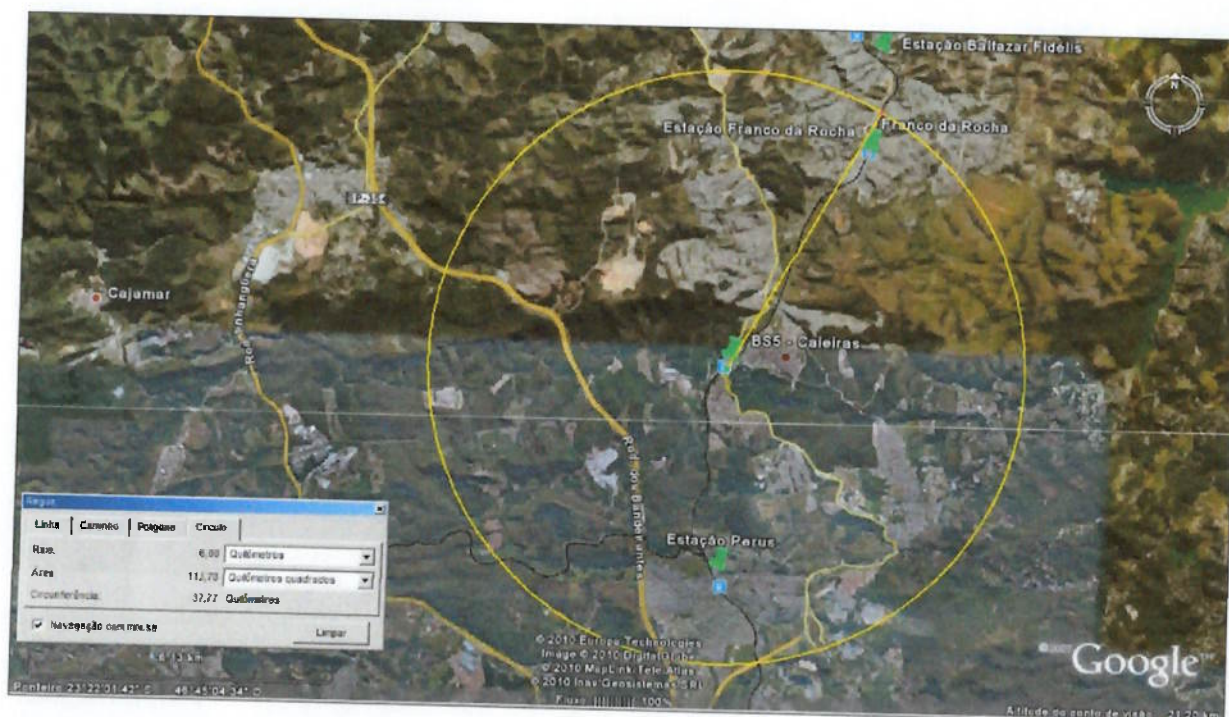


Figura 29 – Área de cobertura da Estação Base Caieiras (BS5) – Área Suburbana

Na Figura 30 pode-se observar a área de abrangência da BS6 localizada na estação Francisco Morato na modulação 64QAM-5/6.

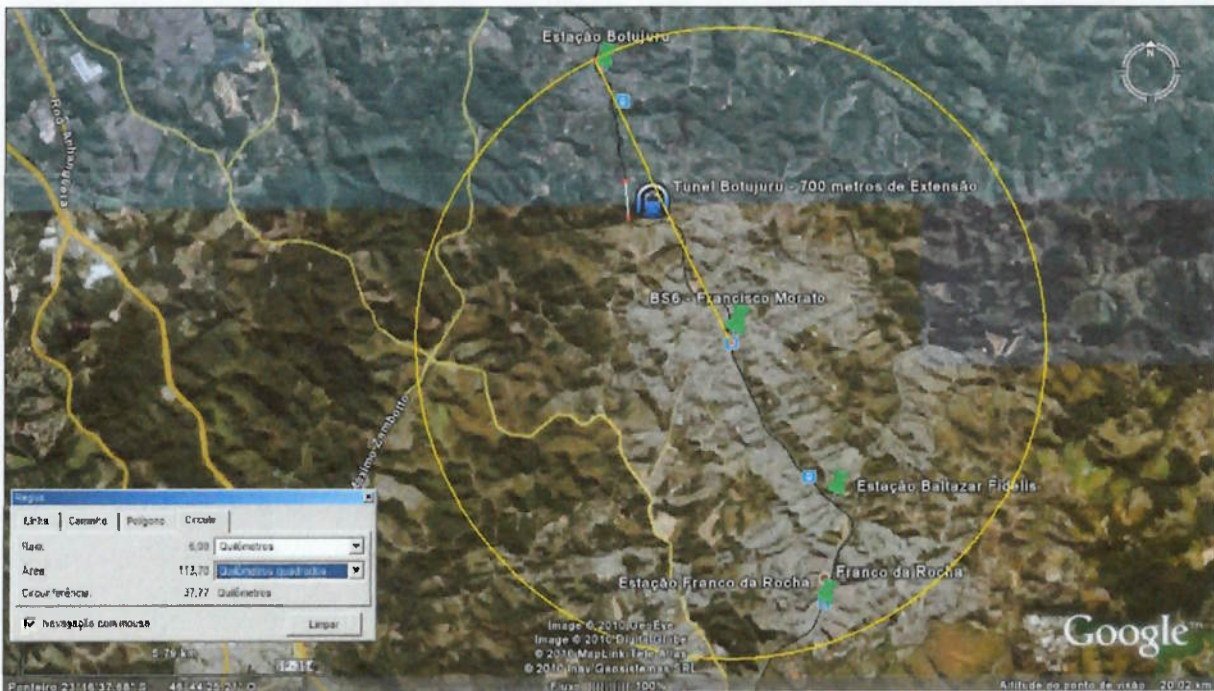


Figura 30 – Área de cobertura da Estação Base Francisco Morato (BS6) – Área Suburbana

Na Figura 31 pode-se observar a área de abrangência da BS7 localizada na estação Campo Limpo Paulista na modulação 64QAM-5/6.

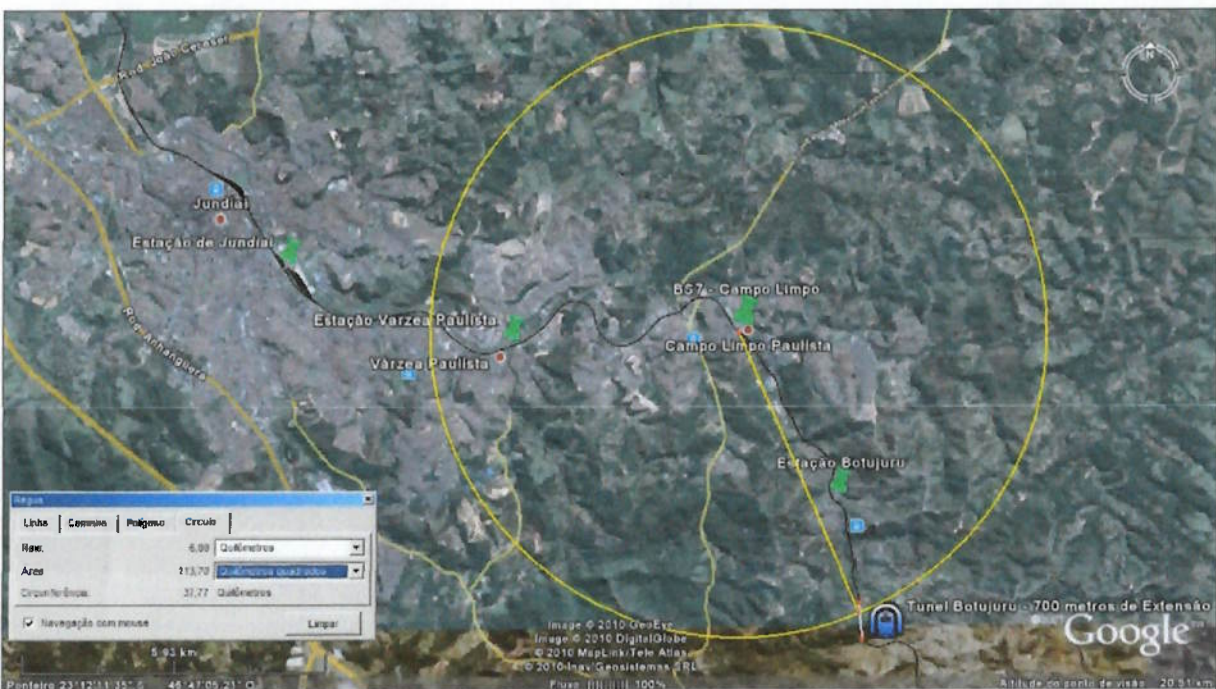


Figura 31 – Área de cobertura da Estação Base Campo Limpo (BS7) – Área Suburbana

Na Figura 32 pode-se observar a área de abrangência da BS8 localizada na estação Jundiá na modulação 64QAM-5/6.

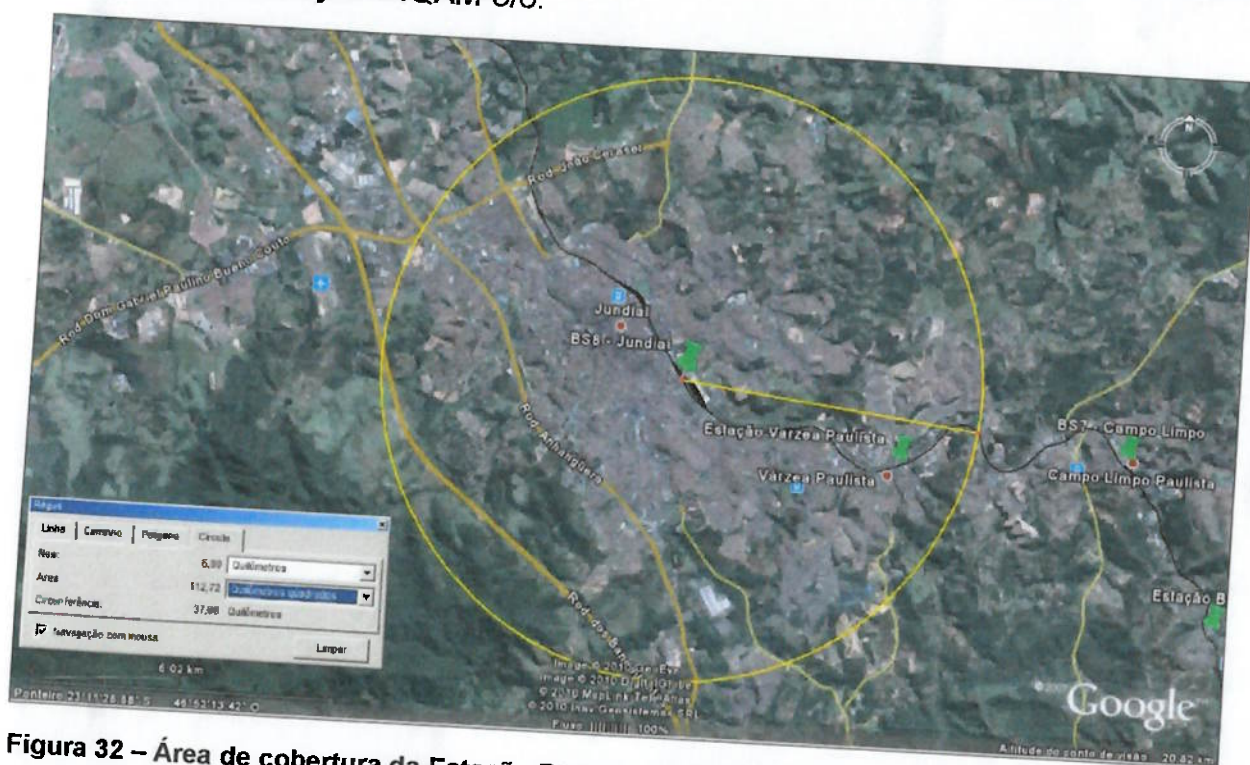


Figura 32 – Área de cobertura da Estação Base Jundiá (BS8) – Área Suburbana

Na Figura 33, apresenta-se a conexão entre cada BS, bem como a distribuição das antenas com as distâncias detalhadas, as frequências utilizadas e as regiões onde ocorrerá o processo de HO, proporcionando uma conexão ininterrupta na modulação 64QAM-5/6.

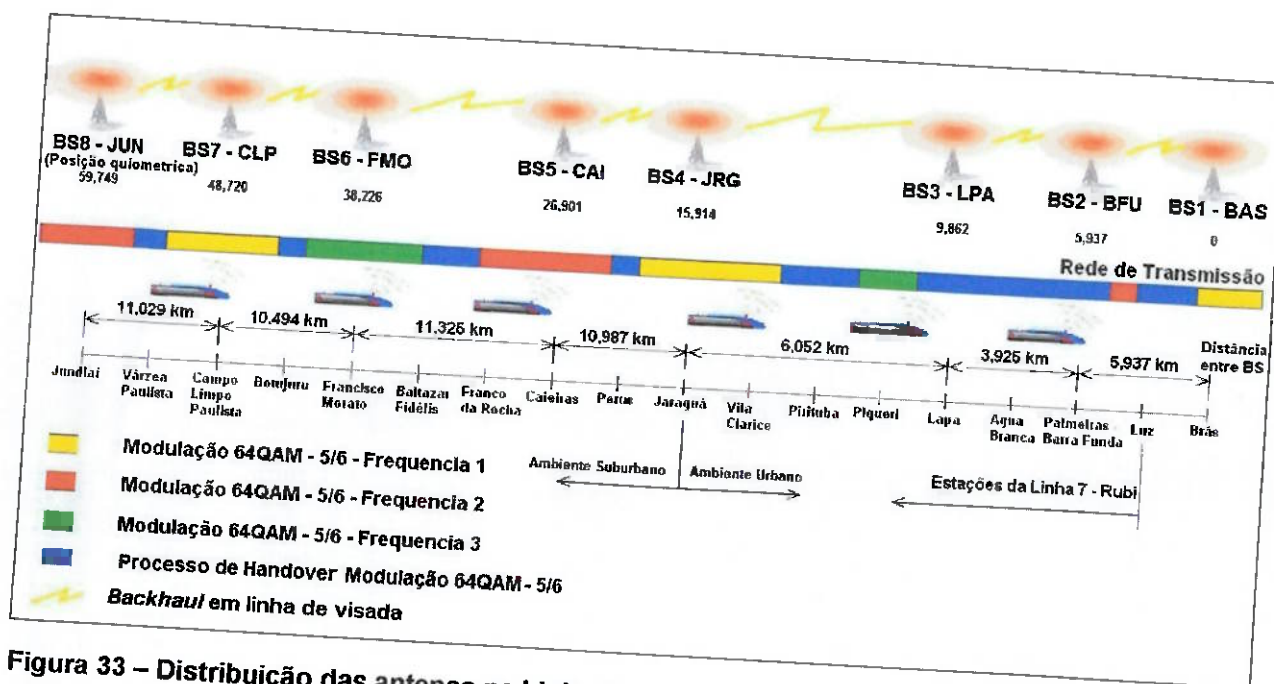


Figura 33 – Distribuição das antenas na Linha 7 entre as estações e região do HO

7.2.3 Utilização das frequências nas Estações Base

As frequências deverão ser utilizadas em três subfaixas distintas F1, F2 e F3, todas em 3.500 MHz com banda de 10 MHz e, distribuídas conforme apresentado na Figura 34 para evitar os problemas de interferências co-canais.

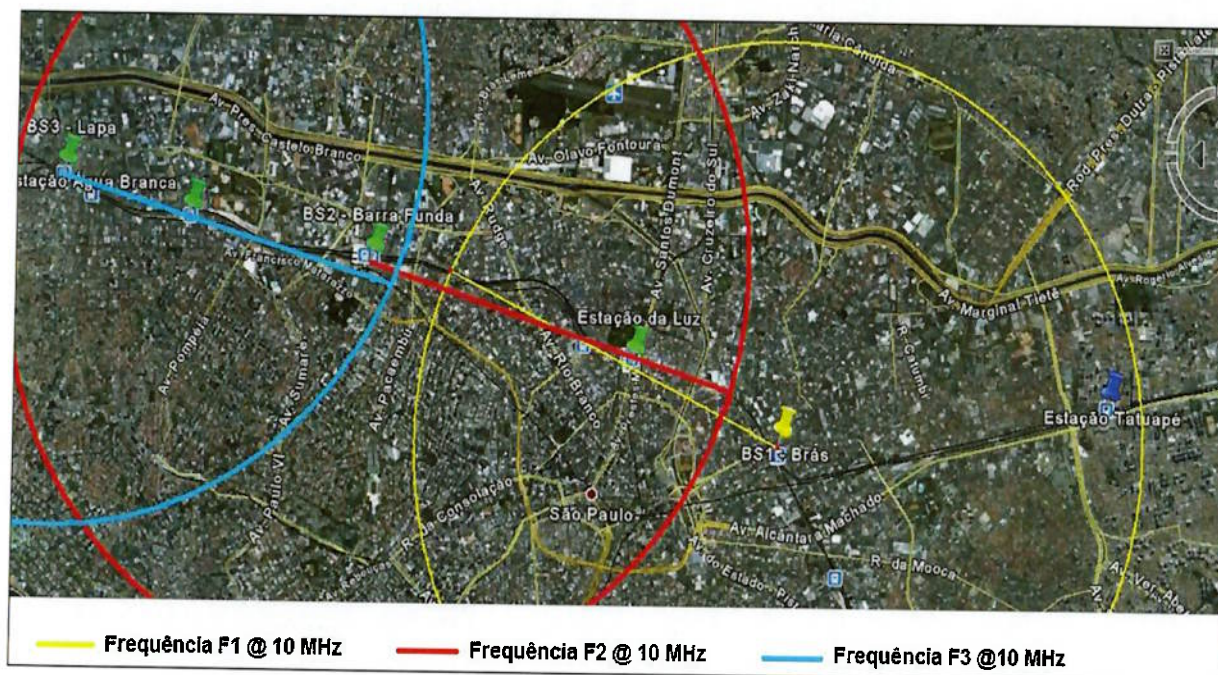


Figura 34 – Distribuição das três subfaixas distintas de frequências entre as BS

7.2.4 Comunicação entre Estações Bases e o SSTT (*Backhaul*)

A comunicação entre as BS deverá ser estabelecida por meio de sistema de transmissão de rádio WiMAX fixo ponto-a-ponto, com um sistema de rádio independente em visada *Line-Of-Sight* (LOS), efetuando a comunicação linear entre todas as BS, estabelecendo o *Backhaul* interligando todas as BS da Linha 7 até conectar-se com a Estação Base Principal (BSP) na estação Brás, local em que por meio de cabo óptico se efetuará a interligação dessa BSP ao Sistema Supervisório de Telemetria de Trens (SSTT) no Centro de Controle Operacional (CCO), estabelecendo-se o *backbone* do sistema. Para isto deverá ser reservada uma frequência também de 3.500 MHz com largura de banda suficiente para manter as taxas mínimas de transmissão, suportando o carregamento de dados paulatinamente acumulados da BS de Jundiaí até a BSP do Brás, em virtude da coleta dos dados adquiridos por cada BS e a respectiva transmissão de toda massa de dados da Linha. O mesmo processo é análogo a todas as demais linhas da CPTM. Na Figura 36 se encontra a topologia final da proposta de projeto do Sistema

Supervisório de Telemetria de Trens (SSTT) aplicado à CPTM, sistema de transmissão de dados sem fio WiMAX móvel e UTREM.

7.2.5 Comunicação na região de túneis

Em alguns locais, como na Linha 7 da CPTM na região de Botujuru, existem túneis. Para a continuidade do sistema irradiante têm-se as seguintes situações e opções:

- Situação de sistema de transmissão de dados sem fio móvel: efetuar a continuidade da rede WiMAX por sistema de rádio repetição com cabo irradiante fendido, instalado internamente no túnel;
- Situação de sistema de transmissão de dados sem fio fixo: efetuar a continuidade da rede WiMAX com a instalação de rádio repetição por meio de antenas com visada, instalado internamente no túnel.

7.2.6 Equipamentos e instalações

7.2.6.1 Instalações fixas

A maioria das estações da CPTM já possui local para instalação dos equipamentos da BS, minimizando problemas de espaço físico junto ao leito da linha férrea e de custos adicionais referentes à construção, manutenção e vigilância de locais distantes das estações para abrigar os equipamentos.

7.2.6.2 Torres

Torres com altura de até 30 m deverão ser instaladas nas estações para que se mantenha a taxa de transmissão desejada.

7.2.6.3 Antenas

As antenas serão montadas proporcionando a cobertura em 120 graus uma da outra e, utilizando-se a tecnologia *beamforming*, equipamento este necessário e especificado para projeto de redes WiMAX.

7.2.6.4 Equipamentos

Os equipamentos a serem utilizados nas BS deverão ser do tipo *Indoor* com saída para conexão de antena em ambiente externo e certificado pelo WiMAX Forum.

Todos os equipamentos com a certificação WiMAX Forum recebem o selo de certificação como apresentado na Figura 35, que garante compatibilidade e interoperabilidade dos produtos de banda larga sem fio.



Figura 35 – Selo de certificação do WiMAX Fórum – Fonte: <<http://www.wimaxforum.org/>>. Acesso em abr. 2010.

7.2.7 Considerações Finais

Com o exposto no capítulo 7, encerra-se o detalhamento de como se dará a transmissão das informações e de como o sistema como um todo será capaz de transmitir o volume de informações de dados e imagens que está sendo previsto para este tipo de rede, tendo por fim consolidada a topologia final da proposta de projeto do Sistema Supervisório de Telemetria de Trens (SSTT) aplicado à CPTM, sistema de transmissão de dados sem fio WiMAX móvel e UTREM apresentado na Figura 36.

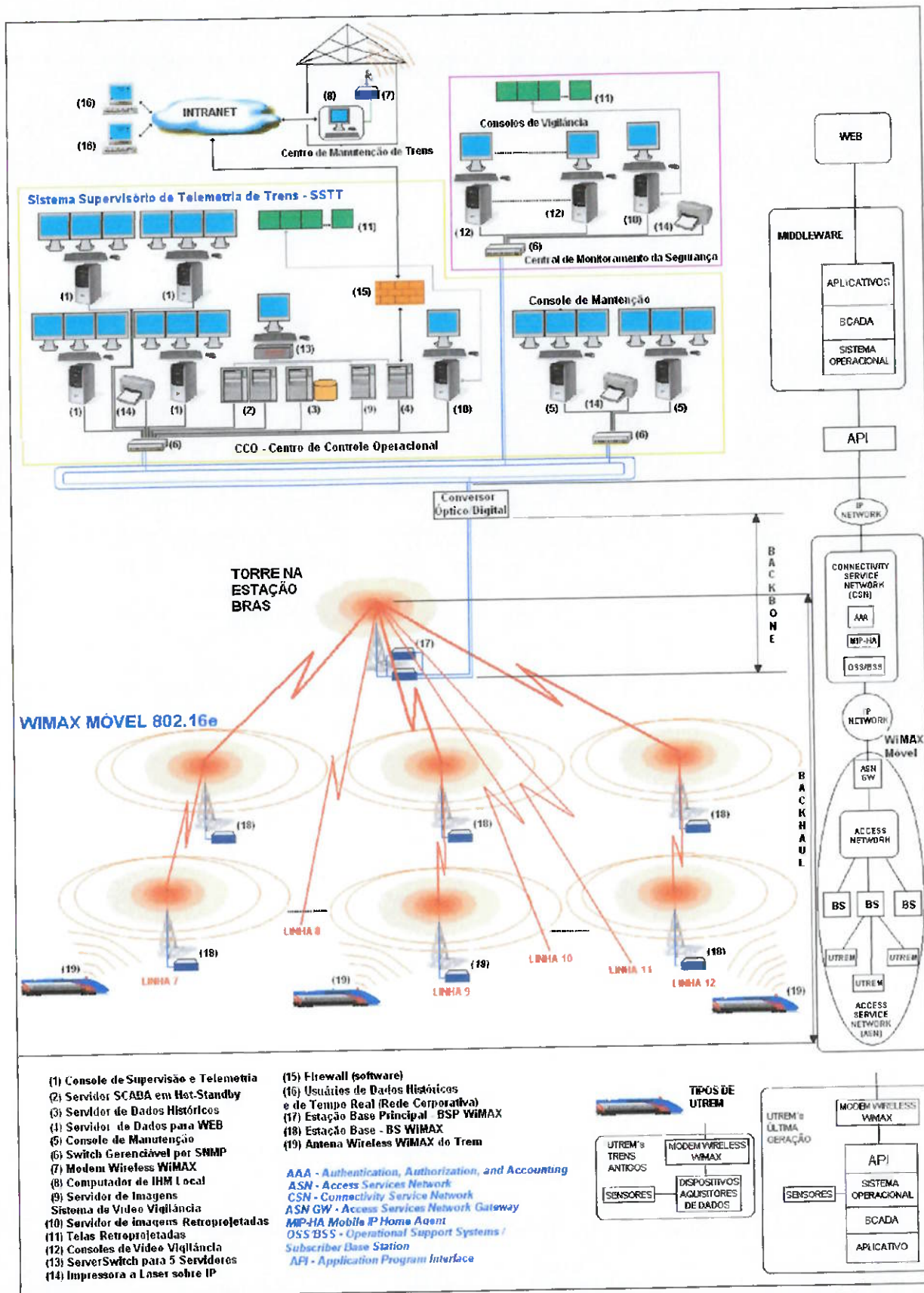


Figura 36 - Topologia final da proposta de projeto do Sistema Supervisor de Telemetria de Trens (SSTS) aplicado à CPTM, sistema de transmissão de dados sem fio WIMAX móvel e UTREM.

8. CONCLUSÕES

Este trabalho desenvolveu um estudo visando contribuir para a concepção de um projeto de telemetria de trens em tempo real via rede WiMAX móvel, aplicado às necessidades da CPTM, visando oferecer condições para que a Companhia possa elaborar uma Especificação Técnica para um futuro processo de licitação, contratação e implantação desse sistema.

Um ponto a destacar é a definição da proposta de estrutura do sistema, desde o sistema supervisor até a escolha do sistema de transmissão de dados/imagens e, por fim, os trens. O trabalho contemplou a variabilidade de tipos de trens, novos e antigos, que a Companhia possui, levando em consideração as suas particularidades. Foi dada ênfase nos requisitos gerais, funcionais, de *hardware* e de *software*.

O estudo realizado sugere a adoção do padrão WiMAX móvel, que apresenta os requisitos para atender as necessidades operacionais atuais e de expansão, de interoperabilidade e de integração com os sistemas novos e com os sistemas legados da CPTM. Por se tratar de uma tecnologia recente, foi realizado um trabalho de pesquisa visando o aprofundamento do conhecimento sobre ela, procurando avaliar a sua adequação técnica e possíveis vantagens que ela apresenta em relação a outras tecnologias. Esse padrão se destaca pelo uso do protocolo TCP/IP, pela robustez a interferências, pelo tamanho de canal escalável, pelo escalonamento seletivo de frequências e pelas altas taxas de transmissão (banda larga). Pôde-se constatar suas qualidades com a simulação que foi efetuada, estabelecendo-se uma metodologia para dimensionamento de rede, aplicada a uma condição real, a partir dos dados obtidos por meio de simulações realizadas para a Linha 7 – Rubi da CPTM. Foi utilizado na simulação o modelo Erceg expandido, levando-se em consideração até mesmo aspectos como o *handover* entre células e o *fading* do sinal, os quais foram superados. Tais conhecimentos serão muito importantes para quando for elaborado o projeto de telemetria de trens na CPTM.

Uma dificuldade enfrentada na elaboração do estudo foi com relação aos sistemas embarcados dos trens de última geração, haja vista que são baseados em tecnologia proprietária, não abertas, e que possuem distintos protocolos, sistemas operacionais e SCADA nas diferentes séries de trens, além do que há pouca documentação à respeito. Porém, este fator não foi impeditivo para se realizar o

presente estudo, já que se propôs uma interface (por meio de *middleware*) para estabelecer a compatibilidade entre os sistemas embarcados existentes e o sistema proposto. Nos trens antigos, a solução encontrada foi a instalação de dispositivo aquisitor de dados usando protocolo MODBUS TCP/IP para fazer o papel similar ao do sistema computadorizado de apontamento de falhas e ocorrências existente nos trens novos, naturalmente com mais limitações.

Após extensa pesquisa na literatura, verificou-se que ainda é raro este tipo de monitoramento em ferrovias ao redor do mundo, que se limitam à transmissão de dados em tempo real em banda estreita.

Espera-se que o presente trabalho contribua para orientar e para oferecer um maior esclarecimento quanto aos problemas, especificações e cuidados para um projeto e implantação do sistema de telemetria de trens. Ele pode-se constituir como um marco inicial do processo, pois oferece subsídios criteriosos que poderão ser ainda mais aprofundados. O conhecimento adquirido até então pode dar condições técnicas suficientes para a participação em novos projetos, tanto na fase de especificação como na interação com as empresas do mercado em condições mais favoráveis, evitando a aquisição de sistemas que venham a não atender plenamente as necessidades da Companhia.

Principais Contribuições

Como principais contribuições deste trabalho podem-se destacar:

- Estudo comparativo entre as diversas tecnologias de transmissão de dados em banda larga via redes sem fios, dentro dos quais, pôde-se avaliar e ter conhecimentos específicos com relação aos sistemas modernos atualmente disponíveis, quanto ao dimensionamento, capacidade, simulação de projeto para planejamentos futuros, limitações e problemas decorrentes, dentre outros pontos, principalmente com relação à tecnologia WiMAX móvel e fixo. Essa tecnologia ainda é pouco conhecida, e até mesmo envolvida por mitos, dentre eles destaca-se a informação que por meio de uma única antena, o raio de cobertura em banda larga atingiria 50 km, o que não procede. Porém, o estudo possibilitou obter uma maior compreensão do WiMAX com relação a seu funcionamento e a comparação com outros sistemas, que evidenciou suas vantagens quanto a sua aplicação para transmissão em banda larga;

- O presente estudo estabeleceu uma metodologia para simulação do dimensionamento de uma rede WiMAX móvel, utilizando para tal um modelo consagrado no meio acadêmico, o modelo Erceg expandido, que apresentou ser o mais adequado para esta finalidade, pois simula os problemas decorrentes do meio de propagação quanto às variáveis, tais como tipologia e topografia dos ambientes, perdas, como *fading* em virtude da velocidade do terminal e com o processo de *handover* na comutação da conexão do terminal na região das células envolvendo as BS. Esta metodologia de simulação será muito útil para as áreas de engenharia na realização do desenvolvimento de um projeto básico de redes em todas as Linhas da CPTM, pois possibilitará obter resultados muito próximo da realidade, como também poderá ser aplicada em outros problemas similares, envolvendo sistemas irradiantes;
- Sistematização das informações sobre a heterogeneidade dos sistemas embarcados dos trens, pois o estudo possibilitou verificar as adequações e preparo necessários para telemetria de trens novos e antigos, de forma centralizada. Neste trabalho teve-se a oportunidade de estudar, de forma aprofundada, os problemas com relação à instalação de *hardwares* embarcados nos trens e ter a definição das variáveis críticas, como também com relação à definição de protocolos de comunicação e o dimensionamento da capacidade de transmissão de dados e de imagens. O resultado deste trabalho possibilitará evitar erros em futuras especificações técnicas e processo de aquisição de novos trens, principalmente com relação aos sensoriamentos, sistemas baseados em tecnologia proprietária (*hardware*, *software* SCADA e aplicativos) e a definição de *hardwares* para telemetria;
- Quanto ao sistema supervisório, apesar de ser um sistema de certa forma padronizado e de conhecimento comum no mercado, um dos pontos positivos foi a definição de uma estrutura para o SSTT que considera em especial a, integração do supervisório do SSTT com os protocolos de comunicação de diferentes SCADA em trens de tecnologias distintas, e, com isso, ter o conhecimento da existência da solução com o uso de *softwares middleware*.

Trabalhos Futuros

Como sugestão de temas para trabalhos futuros propõe-se:

- O aprofundamento do estudo com relação aos sistemas embarcados nos trens, sistema de sensoriamento, *software* SCADA, sistemas operacionais e protocolos de comunicação, principalmente, estabelecendo-se uma padronização;
- Testes reais para comprovação da modelagem e dimensionamento do sistema WiMAX móvel para trens pelo modelo Erceg expandido;
- Um estudo mais aprofundado com relação ao *fading* do sistema de transmissão de dados sem fio WiMAX móvel para trens de alta velocidade;
- Um estudo mais aprofundado referente aos *softwares middleware* com relação aos problemas de integração de *softwares* e protocolos de comunicação proprietários envolvendo diferentes sistemas, principalmente, com relação à comunicação entre supervisor e trens;
- Um estudo para integração dos diversos sistemas existentes na ferrovia com o sistema WiMAX proposto neste trabalho (estações, sistemas informáticos, de telecomunicações fixos e móveis (rádio, celulares, PDA, *palmpilots* e *notebooks*), telecomando de subestações e rádio comunicação trem x CCO), o que contribuirá para um maior aproveitamento do potencial da tecnologia WiMAX;
- Um estudo para propor a complementação do sistema de telemetria de trens objeto deste trabalho, visando além da coleta e aquisição de dados e imagens, utilizando o sistema SCADA a partir do sistema supervisor SSTT no Brás, estudando a possibilidade do sistema poder efetuar também telecomandos naqueles trens que estiverem em circulação, objetivando realizar atuações corretivas à distância, tais como, *reset* de sistemas, simulações, testes e diagnósticos e correções de falhas à distância, comandos eletroeletrônicos de automação para ações dentro do escalão de ações exclusivas da manutenção dos trens, etc;
- Um estudo para propor a complementação com relação ao sistema de telemetria de trens objeto deste trabalho, visando o projeto de transmissão de dados (sem fio) móvel e fixo, em banda larga dentro de túneis ferroviários, considerando a mobilidade e os aspectos do *fading* e *handover* para velocidades de tráfego de trens iguais ou superiores a 120 km/h.

Considerações Finais

Finalmente, citamos a importância do presente trabalho e estudo. Essa oportunidade e iniciativa, com a parceria da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

(EPUSP) e das Companhias CPTM e METRÔ, estabeleceu, consolidou e sistematizou as informações, proporcionando o desenvolvimento do trabalho acadêmico. Trabalho este que contribuirá para a continuidade do desenvolvimento de novas tecnologias sobre trilhos. Essa formação acadêmica nos ajudará no desempenho das nossas funções dentro da Companhia em virtude dos critérios e métodos adquiridos durante o curso. O resultado deste trabalho auxiliará a Companhia na medida em que oferece subsídios para a realização de uma futura implantação de um Sistema Supervisório de Telemetria de Trens.

REFERÊNCIAS

ACROMAG INCORPORATED. *BusWorks® 900EN Series - 10/100M Industrial Ethernet I/O Modules w/ Modbus - Technical Reference – Modbus TCP/IP - Introduction to Modbus TCP/IP*. Wixom, United States, 2005. 42 p. Disponível em: <http://www.dee.hcmut.edu.vn/vn/ptn/sch/download/Network_Architecture/intro_modbusTCP.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). **Resolução nº. 537, de 17 de fevereiro de 2010**. 2010, 10 p. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=238879&assuntoPublicacao=null&caminhoRel=Cidadao-PGR-Apresenta%E7%E3o&filtro=1&documentoPath=238879.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2010.

AGUADO, M.; JACOB, E.; HIGUERO, M. V.; SAIZ, P.; BERBINEAU, M. *Broadband communication in the high mobility scenario: the WiMAX opportunity* - 2009, 429 p. Disponível: <http://sciyo.com/download/pdf/pdfs_id/9484?PHPSESSID=4a3fgcaibrd7nr3dbanii09do4>. Acesso em: 28 abr. 2010.

AHSON, S.; MOHAMMAD, I. *WiMAX: Standards and Security*. 1. ed. New York, United States: CRC Press Taylor & Francis Group, 2008. 278 p. Disponível em: <http://www.ebook3000.com/WiMAX--Standards-and-Security_1950.html>. Acesso em: 2 mai. 2010.

ALVARION.COM. **Equipamento modelo BreezeMax® 3650**. 2010 – Disponível em: <<http://www.alvarion.com/index.php/en/products/products-list/breezemax/breezemaxr-3650>>. Acesso em abr. 2010.

ALVARION LTD (1). *Papers: Alvarion Advanced Antenna Systems: Beamforming*, 2009, 12 p. Disponível em: <<http://www.alvarion.com/index.php/en/company/resource-center/white-papers/1463-alvarion-advanced-antenna-systems-beamforming-white-paper>>. Acesso em: 22 abr. 2010.

ALVARION LTD (2). *Papers: Comparing Mobile WiMAX, 3G and Beyond*, 2007, 24 p. Disponível em: <<http://www.alvarion.com/index.php/en/company/resource-center/white-papers/1464-comparing-mobile-wimax-3g-a-beyond-white-paper>>. Acesso em: 22 abr. 2010.

ALVARION LTD (3). *Papers: Distributed Network Architecture Alvarion's Fractalized ASN Approach: A Practical Implementation of Distributed Network Architecture*, 2009, 8 p. Disponível em: <http://www.alvarion.com/images/stories/resourcecenter/whitepapers/WP_DNA_02_2009_LR.210.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2010.

ALVARION LTD (4). *Papers: Dynamic Rate Adaptation Optimal rate adaptation methods for superior performance of WiMAX™ networks using Alvarion's SentiM™ technologies*, 2009, 12 p. Disponível em:

<http://www.alvarion.com/images/stories/resourcecenter/whitepapers/WP_DNA_02_2009_LR.210.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2010.

ALVARION LTD (5). *Papers: The WiMAX™ 802.16e Advantage a comparison between WiMAX 802.16d and 802.16e TDD technologies*, 2007, 4 p. Disponível em:

<<http://www.moonblinkwifi.com/files/BreezeMAX%20XTRM%20White%20Paper.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2010.

ANDREWS, J. G.; GHOSH, A.; MUHAMED, R. *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking*. 1. ed. Massachusetts, United States: Prentice Hall, 2007. 449 p.

DI FRAIA, M. A.; DO NASCIMENTO JUNIOR, A. P.; CARDOSO, M. **CPTM ET - AM 8882-6 - Prestação de Serviços Especializados para Fornecimento de Projeto Executivo e Execução do Sistema Supervisório Centralizado COE (Console de Operação de Energia) referente ao Sistema Telecomando Centralizado para Integração das Subestações e Cabines Seccionadoras de Tração das Linhas A/D/B/C/E/F**. - Especificação Técnica. Baseada nas documentações técnicas referências: SPIN Engenharia de Automação; SEL – Schweitzer Engineering Laboratories. Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), São Paulo, SP. 2006. 101 p.

ERCEG, V.; GREENSTEIN, L. J.; TJANDRA S. Y.; PARKOFF, S. R.; GUPTA, A.; KULIC B.; JULIUS A. A.; BIANCHI, R. *An Empirically Based Path Loss Model for Wireless Channels in Suburban Environments*. IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. 17, Nº 7, JULY, 1999. 7 p. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.58.5916&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2010.

ERCEG, V.; HARI, K.V. S.; SMITH, M.S.; BAUM, D.S.; SHEIKH, K.P.; TAPPENDEN, C.; COSTA, J.M.; BUSHUE, C.; SARAJEDINI, A.; SCHWARTZ, R.; BRANLUND, D.; KAITZ, T.; TRINKWON, D. **Channel Models for Fixed Wireless Applications**. IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, 2001, 36 p. Disponível em: <http://www.ieee802.org/16/tg3/contrib/802163c-01_29r4.pdf> Acesso em: 18 abr. 2010.

FRAUENDORF, J. L. **4G: Uma Guerra Mundial**. Reportagem do Site: Tele.Síntese, 2010. Disponível em: <<http://www.telesintese.com.br/index.php?option=content&task=view&id=13741&Itemid=10>>. Acesso em 20 mar. 2010.

GOES, A. A. **Método de Handover considerando Balanceamento de Tráfego para Sistemas com Modulação Adaptativa**. – 2009. 128 p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica (PUC), Campinas, SP, 2009. Disponível em:

<http://www.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=540&PHPSESSID=3e1fad6423368a2a9040858da829084>. Acesso em: 18 fev. 2010.

GOES, A. A. **Redes 4G: Aplicação de Modelos de Propagação**. Site: TELECO, 2008, 6 p. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes4g/pagina_3.asp>. Acesso em: 22 abr. 2010.

GRANDI, G., **Metodologia Para Especificação de Telecontrole em Subestações de Energia Elétrica** – 2000. 165 p. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2000. Disponível em: <http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/id/595934.html>. Acesso em: 22 ago. 2009.

GRAY, D. *Papers: WiMAX™, HSPA+, and LTE: A Comparative Analysis*. *WiMAX Fórum*, 2009. 36 p. Disponível em: <http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/document_library/wimax_hspa_and_lte_111809_final.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2010.

INATEL COMPETENCE CENTER. **Guia Técnico Inatel – Guia das Cidades Digitais – Módulo 2: Tecnologia WiMAX** - 2009. 09 p. Disponível em: <<http://www.guiadascidadesdigitais.com.br/inatel002.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2009.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE Standard 802.16-2009 Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems**. New York, United States, 2009.

MOURA, F. A. L. A. **Estimativa do número de estações rádio base para implantação do WiMAX no Distrito Federal**. – 2009. 67 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica, Distrito Federal, Brasília, 2009. Disponível em: <http://repositorio.bce.unb.br/bitstream/10482/4750/1/2009_FilipeAndreiLimadeAndradeMoura.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2010.

NOVUS PRODUTOS ELETRÔNICOS LTDA. **Catálogo: Dispositivo para aquisição e transmissão de dados – WebServer WS10**. 2010. Disponível em: <http://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaoID=607370&SubsecaoID=0&Template=../catalogos/layout_produto.asp&ProdutoID=509052>. Acesso em: 18 mar. 2010.

PANGBORN, S. **WiMAX on a bullet train - Earlier this month, Taiwan's Industrial Technology Research Institute (ITRI) successfully tested WiMAX devices aboard the HSR (High Speed Rail) in Northern Taiwan and Taipei City**. Disponível: <<http://www.wimax.com/commentary/blog/blog-2010/april-2010/wimax-on-a-bullet-train-0427/?searchterm=high%20speed%20rail>>. Acesso em: 28 abr. 2010.

PEREIRA DO NASCIMENTO JUNIOR, A. **Sistema Centralizado de Telemetria Ferroviária Aplicado à Frota de Trens de Superfície**. 2004. Prêmio Alstom de Tecnologia Metro-Ferroviária, Seminário Técnico da Feira Negócios nos Trilhos, São Paulo, SP, 2004. Disponível em: <http://www.revistaferroviaria.com.br/alstom2004/trabalhos/sistema_telemetria.htm>. Acesso em: 15 set. 2009.

PINHEIRO, N. **Introdução a Clustering no Windows Server 2003 e SQL Server 2000/2005**. Publicado no site mcdbabrazil – O portal dos DBA's SQL Server, 2006. Disponível em: <<http://www.mcdbabrazil.com.br/modules.php?name=News&file=article&sid=316>>. Acesso em: 10 jun. 2010.

RABASSA, A. E.; FERNANDES, D. S. **Sistema de Telemetria Para Parâmetros Ambientais** – 2008. 54 p. Monografia (TCC) - Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Positivo, Curitiba, PR, 2008. Disponível em: <http://eletrica.up.edu.br/arquivos/eletrica/File/TCC/tcc%202008/Anderson_Daniel.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2010.

ROZAS, N. **O que é Telemetria** – 2004. 13/64 p. Revista Gás Brasil, 3ª Edição, São Paulo, SP, 2004. Disponível em: <http://www.gasbrasil.com.br/revista/pdf/revista_3ed.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2010.

RUNARSDOTTIR, J. K. **Comparison of Mobile WiMAX and HSDPA**. – 2008. 80 p. *Master of Science Thesis performed at the Radio Communication Systems Group, KTH, Stockholm, Sweden, 2008*. Disponível em: <<http://www.cos.ict.kth.se/publications/publications/2008/2712.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2010.

Site: MIDDLEWARE RESOURCE CENTER. **What is Middleware?** 2010. Disponível em: <<http://www.middleware.org/whatis.html>>. Acesso em: 18 abr. 2010.

Site: WIKIPÉDIA. **Middleware**. 2010. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Middleware>>. Acesso em: 18 abr. 2010.

Site: WIMAX.COM. **Link Budget**. 2010. Disponível em: <http://www.wimax.com/education/wimax/site_survey>. Acesso em: 18 mar. 2010.

TECVOZ. **Gravador digital de vídeo de imagens de Circuito Fechado de TV (CFTV) modelo DVR**. 2010. Disponível em: <<http://www.projestel.com.br/tecvoz.html>>. Acesso em: 18 abr. 2010.

ANEXO 1 - Mapa do Transporte Metropolitano

Mapa do Transporte Metropolitano



Legenda

	Linha 1 - Azul	METRÔ
	Linha 2 - Verde	METRÔ
	Linha 3 - Vermelha	METRÔ
	Linha 4 - Amarela	VIAQUATRO
	Linha 5 - Liáa	METRÔ
	Linha 7 - Rubi	CPTM
	Linha 8 - Diamante	CPTM
	Linha 9 - Esmeralda	CPTM
	Linha 10 - Turquesa	CPTM
	Linha 11 - Coral	CPTM
	Linha 11 - Coral - Expresso Leste	CPTM
	Linha 12 - Safira	CPTM
	Expresso Turístico	CPTM
	Ponte ORCA - gratuita	EMTU
	Ponte ORCA - tarifada	EMTU
	Corredor Metropolitano de Ônibus ABD	EMTU

	Terminal Metropolitano de Ônibus
	Estação
	Estação de Integração - gratuita
	Estação de Integração - tarifada
	Estações com elevador
	Paraciclos
	Bicicletário
	Bicicletário com empréstimo de bicicleta
	Estacionamento Integrado Metrô, CPTM e Ônibus

Informações

	CPTM	0800 055 0121
	EMTU	0800 724 0555
	METRÔ	0800 770 7722
	Via Quatro	0800 770 7100



ANEXO 2 – Frota de Trens da CPTM

Série 1100




MC Salão de Passageiros
R Cabina de Comando

Legenda
M: Carro Motor
MC: Carro Motor com cabine de condução
MC1: Carro Motor diferenciado com cabine de condução
R: Carro Reboque
R1: Carro Reboque diferenciado
RC: Carro Reboque com cabine de condução
RC1: Carro Reboque diferenciado com cabine de condução



Formação TUE : MC+R+R1
 Fabricante : BUDD,MAFERSA
 Ano de Fabricação : 1956 / 1957
 Origem : EUA
 Ano Operação : 1997
 Caixa : Aço Inox
 Bitola : 1,60 m
 Quantidade de Portas/Carro : 8
 Linhas de operação : 7-10
 Composição Linha 7 : 6 Carros
 Composição Linha 10 : 6 Carros
 Altura Carro : 4,221 m
 Altura Pantogr. Abaixado : 4,653 m
 Altura Pantogr. Levantado : 7,010 m
 Altura Boletão ao Piso : 1,352 m
 Altura Boletão ao Eixo Engate : 0,927 m
 Largura Carro : 3,057 m
 Largura Portas : 1,20 m
 Comprimento MC : 25,907 m
 Comprimento R/R1 : 23,907 m
 Peso MC : 58.500 Kg
 Peso R : 39.500 Kg
 Peso R1 : 26.500 Kg
 Diâmetro das Rodas : 36 pol.
 Esforço Trator : 15.304 Kgf
 Potência Contínua : 1.224 Kw
 Velocidade Máxima : 100 Km/h
 Aceleração Máxima : 0,50 m/s²
 Desaceleração Max. Freio de Serviço : 0,77 m/s²
 Desaceleração Max. Freio Emergência : 1,10 m/s²
 Raio Min Curv Horiz. : 76 m
 Lotação MC : 58+23*
 Lotação R/R1 : 68+238
 Lotação TUE : 904

Fonte: <<https://intranet.cptm.sp.gov.br/Operacao/frota/principal.asp?fot=1100>> - Acesso: em mai. 2010.

Série 1400



Salão de Passageiros
Cabina de Comando

Legenda

- M:** Carro Motor
- MC:** Carro Motor com cabine de condução
- MCI:** Carro Motor diferenciado com cabine de condução
- R:** Carro Reboque
- RI:** Carro Reboque diferenciado
- RC:** Carro Reboque com cabine de condução
- RCI:** Carro Reboque diferenciado com cabine de condução



Formação TUE : MC+R+RC

Fabricante : BUDD/MAFERSA

Ano de Fabricação : 1976 / 1977

Origem : Brasil

Ano Operação : 1976

Caixa : Aço Inox

Bitola : 1,60 m

Quantidade de Portas/Carro : 6

Linhas de operação : 7 - 11

Composição Linha 7 : 3 Carros

Composição Linha 11 : 6 Carros

Altura Carro : 4,172 m

Altura Pantogr. Abaixado : 4,655 m

Altura Pantogr. Levantado : 7,010 m

Altura Boleta ao Piso : 1,362 m

Altura Boleta ao Eixo Engate : 0,927 m

Largura Carro : 3,057 m

Largura Portas : 1,20 m

Comprimento MC : 25,907 m

Comprimento R/RC : 25,907 m

Peso MC : 61.900 Kg

Peso R : 41.500 Kg

Peso RC : 40.050 Kg

Diâmetro das Rodas : 36 pol.

Esforço Tração : 15.304 Kgf

Potência Contínua : 1.224 Kw

Velocidade Máxima : 100 Km/h

Aceleração Máxima : 0,50 m/s²

Desaceleração Max. Freio de Serviço : 0,77 m/s²

Desaceleração Max. Freio Emergência : 1,10 m/s²

Raio Min Curv Horiz. : 76 m

Lotação MC : 94+208



Lotação R : 99+206

Lotação RC : 97+204

Lotação TUE : 904

Série 1600



 Salão de Passageiros
 Cabina de Comando

Legenda



M: Carro Motor
MC: Carro Motor com cabine de condução
MC1: Carro Motor diferenciado com cabine de condução
R: Carro Reboque
R1: Carro Reboque diferenciado
RC: Carro Reboque com cabine de condução
RC1: Carro Reboque diferenciado com cabine de condução



Formação TUE: MC+R+RC
Fabricante: BUDD/MAFERSA
Ano de Fabricação: 1978
Origem: Brasil
Ano Operação: 1978
Caixa: Aço Inox
Bitola: 1,60 m
Quantidade de Portas/Carro: 8
Linhas de operação: 7 - 12
Composição Linha 7: 3 Carros
Composição Linha 12: 6 Carros
Altura Carro: 4,172 m
Altura Pantogr. Abaixado: 4,653 m
Altura Pantogr. Levantado: 7,010 m
Altura Boleto ao Piso: 1,362 m
Altura Boleto ao Eixo Engate: 0,927 m
Largura Carro: 3,058 m
Largura Portas: 1,20 m
Comprimento MC: 25,908 m
Comprimento R/RC: 25,908 m
Peso MC: 59.000 Kg
Peso R: 40.890 Kg
Peso RC: 39.500 Kg
Diâmetro das Rodas: 36 pol.
Esforço Trator: 15.304 Kgf
Potência Contínua: 1.372 Kw
Velocidade Máxima: 100 Km/h
Aceleração Máxima: 0,50 m/s²
Desaceleração Max. Freio de Serviço: 0,77 m/s²
Desaceleração Max. Freio Emergência: 1,10 m/s²
Raio Min Curv Horiz.: 76 m
Lotação MC: 92+202
Lotação R: 96+206
Lotação RC: 92+204
Lotação TUE: 894

Série 1700



 Salão de Passageiros
 Cabina de Comando

Legenda

- M:** Carro Motor
- MC:** Carro Motor com cabine de condução
- MC1:** Carro Motor diferenciado com cabine de condução
- R:** Carro Reboque
- R1:** Carro Reboque diferenciado
- RC:** Carro Reboque com cabine de condução
- RC1:** Carro Reboque diferenciado com cabine de condução



Formação TUE : MC-R+R1+MC1

Fabricante : MAFERSA

Ano de Fabricação : 1987

Origem : Brasil

Ano Operação : 1987

Caixa : Aço Inox

Bitola : 1,60 m

Quantidade de Portas/Carro : 8

Linhas de operação : 7 - 10

Composição Linha 7 : 8 e 4 Carros

Composição Linha 10 : 8 Carros

Altura Carro : 3,945 m

Altura Pantogr. Abaixado : 4,368 m

Altura Pantogr. Levantado : 6,848 m

Altura Boleto ao Piso : 1,305 m

Altura Boleto ao Eixo Engate : 0,990 m

Largura Carro : 2,930 m

Largura Portas : 1,30 m

Comprimento MC/MC1 : 22,453 m

Comprimento R/R1 : 22,004 m

Peso MC/MC1 : 57.000 Kg

Peso R : 42.000 Kg

Peso R1 : 41.000 Kg

Diâmetro das Rodas : 38 pol.

Esforço Trator : 15.920 Kgf

Potência Contínua : 2.530 Kw

Velocidade Máxima : 100 Km/h

Aceleração Máxima : 0,80 m/s²

Desaceleração Max. Freio de Serviço : 0,77 m/s²

Desaceleração Max. Freio Emergência : 1,10 m/s²

Raio Min Curv Horiz. : 80 m



Lotação MC/MC1 : 54+185

Lotação R/R1 : 60+197

Lotação TUE : 992

Série 2000



 Salão de Passajeiros
 Cabina de Condução

Legenda

M: Carro Motor
MC: Carro Motor com cabine de condução
MC1: Carro Motor diferenciado com cabine de condução
R: Carro Reboque
R1: Carro Reboque diferenciado
RC: Carro Reboque com cabine de condução
RC1: Carro Reboque diferenciado com cabine de condução



Formação TUE : MC+R+R1+MC1
 Fabricante : CAF/ADTRANZ/ALSTOM
 Ano de Fabricação : 1999
 Origem : Espanha
 Ano Operação : 2000
 Caixa : Aço Carbono
 Bitola : 1,60 m
 Quantidade de Portas/Carro : 6
 Linhas de operação : 11 (Expresso Leste)
 Composição Linha 11 : 8 Carros
 Altura Carro : 4,309 m
 Altura Pantogr. Abaixado : 4,655 m
 Altura Pantogr. Levantado : 7,010 m
 Altura Boleto ao Piso : 1,335 m
 Altura Boleto ao Eixo Engate : 0,880 m
 Largura Carro : 3,050 m
 Largura Portas : 1,30 m
 Comprimento MC/MC1 : 21,174 m
 Comprimento R/R1 : 20,610 m
 Peso MC/MC1 : 49,620Kg
 Peso R : 40,960Kg
 Peso R1 : 38,876 kg
 Diâmetro das Rodas : 915 mm
 Esforço Trator : 30,000 Kgf
 Potência Contínua : 2,400 Kw
 Velocidade Máxima : 90 Km/h
 Aceleração Máxima : 0,90 m/s²
 Desaceleração Max. Freio de Serviço : 0,77m/s²
 Desaceleração Max. Freio Emergência : 1,1m/s²
 Raio Min Curv Horiz. : 90 m
 Lotação MC/MC1 : 54+189
 Lotação R/R1 : 60+196
 Lotação TUE : 998

Série 2000 Fase II



Salão de Passageiros

Cabina de Comando

Legenda

- M:** Carro Motor
- MC:** Carro Motor com cabine de condução
- MC1:** Carro Motor diferenciado com cabine de condução
- R:** Carro Reboque
- R1:** Carro Reboque diferenciado
- RC:** Carro Reboque com cabine de condução
- RC1:** Carro Reboque diferenciado com cabine de condução





Formação TUE : MC+R+R1+MC1
 Fabricante : ALSTOM/BOMBARDIER/CAF
 Ano de Fabricação : 2008
 Origem : Brasil
 Ano Operação : 2008
 Caixa : Aço Inox
 Bitola : 1,60 m
 Quantidade de Portas/Carro : 8
 Linhas de operação : 9
 Composição Linha 9 : 4 Carros
 Altura Carro : 3,840 m
 Altura Pantogr. Abaixado : 4,635 m
 Altura Boleto ao Piso : 1,335 m
 Altura Boleto ao Eixo Engate : 0,927 m
 Largura Carro : 3,040 m
 Largura Portas : 1,60 m
 Comprimento MC/MC1 : 21,565 m
 Comprimento R/R1 : 20,610 m
 Peso MC : 48.900 Kg
 Peso R : 40.000 Kg
 Esforço Trator : 28.000 Kgf
 Potência Contínua : 2,685 Kw
 Velocidade Máxima : 120 Km/h
 Aceleração Máxima : 0,90 m/s²
 Desaceleração Max. Freio de Serviço : 1,10 m/s²
 Desaceleração Max. Freio Emergência : 1,2 m/s²
 Lotação MC/MC1 : 50+103
 Lotação R/R1 : 54-194
 Lotação TUE : 962

Fonte: <<https://intranet.cptm.sp.gov.br/Operacao/frota/principal.asp?fot=2001>> - Acesso: em mai. 2010.

Série 2100



 Salão de Passageiros
 Cabina de Condução

Legenda

M: Carro Motor
MC: Carro Motor com cabine de condução
MC1: Carro Motor diferenciado com cabine de condução
R: Carro Reboque
R1: Carro Reboque diferenciado
RC: Carro Reboque com cabine de condução
RC1: Carro Reboque diferenciado com cabine de condução



Formação TUE : MC+R+RC

Fabricante : CAF

Ano de Fabricação : 1974/1977

Origem : Espanha

Ano Operação : 1998

Caixa : Aço Carbono

Bitola : 1,60 m

Quantidade de Portas/Carro : 4

Linhas de operação : 9 - 10

Composição Linha 9 : 3 Carros

Composição Linha 10 : 6 Carros

Altura Carro : 3,682 m

Altura Pantogr. Abaixado : 4,216 m

Altura Pantogr. Levantado : 6,590 m

Altura Boileto ao Piso : 1,305 m

Altura Boileto ao Eixo Engate : 0,927 m

Largura Carro : 2,900 m

Largura Portas : 2,12 m

Comprimento MC : 26,205 m

Comprimento R : 26,160 m

Comprimento RC : 26,205 m

Peso MC : 65.000 Kg

Peso R : 40.000 Kg

Peso RC : 45.000 Kg

Diâmetro das Rodas : CM: 1000 mm / CR: 940 mm

Esforço Trator : 12.960 Kgf

Potência Contínua : 1,160 Kw

Velocidade Máxima : 140 Km/h

Aceleração Máxima : 0,40 m/s²

Desaceleração Max. Freio de Serviço : 0,80 m/s²

Desaceleração Max. Freio Emergência : 1,1 m/s²

Raio Min Curv Horiz. : 130 m

Lotação MC : 62-229



Lotação R : 76-245

Lotação RC : 64+249

Lotação TUE : 925

Série 3000



 Salão de Passageiros
 Cabina de Comando

Legenda

- M:** Carro Motor
- MC:** Carro Motor com cabine de condução
- MC1:** Carro Motor diferenciado com cabine de condução
- R:** Carro Reboque
- R1:** Carro Reboque diferenciado
- RC:** Carro Reboque com cabine de condução
- RC1:** Carro Reboque diferenciado com cabine de condução



Formação TUE : MC+R+R1+MC1

Fabricante : SIEMENS

Ano de Fabricação : 2000

Origem : Alemanha

Ano Operação : 2001

Caixa : Aço Inox

Bitola : 1,60 m

Quantidade de Portas/Carro : 6

Linhas de operação : 9

Composição Linha 9 : 4 Carros

Altura Carro : 4,015m

Altura Pantogr. Abaixado : 4,441 m

Altura Pantogr. Levantado : 6,500 m

Altura Boleta ao Piso : 1,303 m

Altura Boleta ao Eixo Engate : 0,927 m

Largura Carro : 3,050 m

Largura Portas : 1,30 m

Comprimento MC/MC1 : 20,300 m

Comprimento R/R1 : 20,000 m

Peso MC/MC1 : 45.200 Kg

Peso R/R1 : 35.300 Kg

Diâmetro das Rodas : 34 pol.

Esforço Trator : 25.000 Kgf

Potência Contínua : 2.992 KW

Velocidade Máxima : 120 Km/h

Aceleração Máxima : 0,90 m/s²

Desaceleração Max. Freio de Serviço : 1,10 m/s²

Desaceleração Max. Freio Emergência : 1,2 m/s²

Raio Min Curv Horiz. : 80 m



Lotação MC/MC1 : 54+172

Lotação R/R1 : 62+164

Lotação TUE : 944

Série 4400



 Salão de Passageiros
 Cabina de Comando

Legenda

- M:** Carro Motor
- MC:** Carro Motor com cabine de condução
- MC1:** Carro Motor diferenciado com cabine de condução
- R:** Carro Reboque
- R1:** Carro Reboque diferenciado
- RC:** Carro Reboque com cabine de condução
- RC1:** Carro Reboque diferenciado com cabine de condução





Formação TUE : RC+M+RC1
 Fabricante : FNV/COBRASMA
 Ano de Fabricação : 1965
 Origem : EUA
 Ano Operação : 1981
 Caixa : Aço Carbono
 Bitola : 1,60 m
 Quantidade de Portas/Carro : 6
 Linhas de operação : 11 e 12
 Composição Linha 11 : 6 Carros
 Composição Linha 12 : 6 Carros
 Altura Carro : 3,910 m
 Altura Pantogr. Abaixado : 4,400 m
 Altura Pantogr. Levantado : 6,400 m
 Altura Boleto ao Piso : 1,254 m
 Altura Boleto ao Eixo Engate : 1,050 m
 Largura Carro : 2,977 m
 Largura Portas : 1,20 m
 Comprimento M : 22,000 m
 Comprimento RC/RC1 : 22,000 m
 Peso M : 61.200 Kg
 Peso RC1 : 42.200 Kg
 Peso RC : 47.900 Kg
 Diâmetro das Rodas : 36 pol.
 Esforço Trator : 12.400 Kgf
 Potência Contínua : 1.260 Kw
 Velocidade Máxima : 100 Km/h
 Aceleração Máxima : 0,55 m/s²
 Desaceleração Max. Freio de Serviço : 0,65m/s²
 Desaceleração Max. Freio Emergência : 0,85 m/s²
 Raio Min. Curv. Horiz. : 80 m
 Lotação M : 74+200
 Lotação RC/RC1 : 66+201
 Lotação TUE : 608

Fonte: <<https://intranet.cptm.sp.gov.br/Operacao/frota/principal.asp?fot=4400>> - Acesso: em mai. 2010.

Série 5000



 Salão de Passageiros
 Cabina de Condução

Legenda

- M**: Carro Motor
- MC**: Carro Motor com cabine de condução
- MCS**: Carro Motor diferenciado com cabine de condução
- R**: Carro Reboque
- R1**: Carro Reboque diferenciado
- RC**: Carro Reboque com cabine de condução
- RC1**: Carro Reboque diferenciado com cabine de condução



Formação TUE : MC+R+R1

Fabricante : CCTU

Ano de Fabricação : 1978

Origem : França

Ano Operação : 1978

Caixa : Aço Inox

Bitola : 1,60 m

Quantidade de Portas/Carro : 6

Linhas de operação : 8

Composição Linha 8 : 12 Carros

Altura Carro : 3,000 m

Altura Pantogr. Abaixado : 4,325 m

Altura Pantogr. Levantado : 6,500 m

Altura Boleto ao Piso : 1,305 m

Altura Boleto ao Eixo Engate : 1,003 m

Largura Carro : 3,078 m

Largura Portas : 1,30 m

Comprimento MC : 19,803 m

Comprimento R/R1 : 19,300 m

Peso MC : 49.800 Kg

Peso R : 32.000 Kg

Peso R1 : 29.000 Kg

Diâmetro das Rodas : 36 pol.

Esforço Trator : 17.826 Kgf

Potência Contínua : 628 Kw

Velocidade Máxima : 100 Km/h

Aceleração Máxima : 0,70 m/s²

Desaceleração Max. Freio de Serviço : 0,80 m/s²

Desaceleração Max. Freio Emergência : 1,00 m/s²

Raio Min. Curv. Horiz. : 80 m



Lotação MC : 56-171

Lotação R/R1 : 64-176

Lotação TUE : 707

Série 5500



 Salão de Passageiros
 Cabina de Comando

Legenda

- M:** Carro Motor
- MC:** Carro Motor com cabine de condução
- MC1:** Carro Motor diferenciado com cabine de condução
- R:** Carro Reboque
- R1:** Carro Reboque diferenciado
- RC:** Carro Reboque com cabine de condução
- RC1:** Carro Reboque diferenciado com cabine de condução



Formação TUE : MC-R

Fabricante : ACEC

Ano de Fabricação : 1979 / 1980

Origem : Portugal

Ano Operação : 1980

Caixa : Aço Inox

Bitola : 1,60 m

Quantidade de Portas/Carro : 8

Linhas de operação : 12

Composição Linha 12 : 8 Carros

Altura Carro : 3,845 m

Altura Pantogr. Abaixado : 4,270 m

Altura Pantogr. Levantado : 6,300 m

Altura Boletão ao Piso : 1,307 m

Altura Boletão ao Eixo Engate : 1,003 m

Largura Carro : 3,020 m

Largura Portas : 1,30 m

Comprimento MC : 20,400 m

Comprimento R : 23,020 m

Peso MC : 45.800 Kg

Peso R : 31.720 Kg

Diâmetro das Rodas : 36 pol.

Esforço Trator : 23.380 Kgf

Potência Contínua : 1.006 Kw

Velocidade Máxima : 90 Km/h

Aceleração Máxima : 0,65 m/s²

Desaceleração Max. Freio de Serviço : 0,74 m/s²

Desaceleração Max. Freio Emergência : 0,80 m/s²

Raio Min Curv Horiz. : 100 m

Lotação MC : 52-173



Lotação R : 64-182

Lotação TUE : 471

Fonte: <<https://intranet.cptm.sp.gov.br/Operacao/frota/principal.asp?fot=5500>> - Acesso: em mai. 2010.

Série 5500 Fase II



 Salão de Passageiros
 Cabina de Comando

Legenda

M: Carro Motor
MC: Carro Motor com cabine de condução
MC1: Carro Motor diferenciado com cabine de condução
R: Carro Reboque
R1: Carro Reboque diferenciado
RC: Carro Reboque com cabine de condução
RC1: Carro Reboque diferenciado com cabine de condução



Formação TUE : MC+R

Fabricante : ACEC (MOD.BT BRASIL)

Ano de Fabricação : 1979 / 1980

Origem : Portugal

Ano Operação : 2008

Caixa : Aço Inox

Bitola : 1,60 m

Quantidade de Portas/Carro : 8

Linhas de operação : 12

Composição Linha 12 : 8 Carros

Altura Carro : 3,845 m

Altura Pantogr. Abaixado : 4,270 m

Altura Pantogr. Levantado : 6,500 m

Altura Boleto ao Piso : 1,307 m

Altura Boleto ao Eixo Engate : 1,003 m

Largura Carro : 3,020 m

Largura Portas : 1,30 m

Comprimento MC : 20,400 m

Comprimento R : 20,000 m

Peso MC : 40.500 Kg

Peso R : 35.000 Kg

Esforço Trator : 23.380 Kgf

Potência Contínua : 1.086 Kw

Velocidade Máxima : 90 Km/h

Aceleração Máxima : 0,70 m/s²

Desaceleração Max. Freio de Serviço : 0,74 m/s²

Desaceleração Max. Freio Emergência : 0,80 m/s²

Raio Min. Curv. Horiz. : 100 m

Lotação MC : 41+181

Lotação R : 48+193

Lotação TUE : 463

Série 7000



3000 Salão de Passageiros

1000 Cabina de Comando

Legenda

- M:** Carro Motor
- MC:** Carro Motor com cabine de condução
- MC1:** Carro Motor diferenciado com cabine de condução
- R:** Carro Reboque
- R1:** Carro Reboque diferenciado
- RC:** Carro Reboque com cabine de condução
- RC1:** Carro Reboque diferenciado com cabine de condução



Formação TUE : MC+R+R1+MC1

Fabricante : CAF

Ano de Fabricação : 2009

Origem : Espanha e Brasil

Ano Operação : 2010

Caixa : Aço Inox

Bitola : 1,50 m

Quantidade de Portas/Carro : 8

Linhas de operação : 7 - 12

Composição Linha 7 : 8 Carros

Composição Linha 12 : 8 Carros

Altura Carro : 3,936 m

Altura Pantogr. Abaixado : 4,555 m

Altura Boileto ao Piso : 1,335 m

Altura Boileto ao Eixo Engate : 0,927 m

Largura Carro : 3,050 m

Largura Portas : 1,30m

Comprimento MC/MC1 : 21,922 m

Comprimento R/R1 : 20,610 m

Peso MC : 49.620 Kg

Peso R : 39.917 Kg

Esforço Trator : 28.300 Kgf

Potência Contínua : 2.860 Kw

Velocidade Máxima : 100 Km/h

Aceleração Máxima : 0,90 m/s²

Desaceleração Max. Freio de Serviço : 1,10 m/s²

Desaceleração Max. Freio Emergência : 1,2 m/s²

Lotação MC/MC1 : 54+248

Lotação R/R1 : 60+269

Lotação TUE : 1262

Fonte: <<https://intranet.cptm.sp.gov.br/Operacao/frota/principal.asp?fot=7000>> - Acesso: em mai. 2010.

