



AEAMESP



“21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA”

CATEGORIA 3

SOLUÇÃO TERRA-TREM UTILIZADA NO SCMVD DA LINHA 17 – OURO

AUTOR: ANDERSON BACCAS CORREA

1. INTRODUÇÃO

O propósito desse documento é detalhar as características técnicas do sistema SCMVD, descrevendo suas principais funcionalidades e capacidades e tratar sobre detalhes técnicos de cada sistema que o compõe.

2. DESCRIÇÃO DO TERRA-TREM

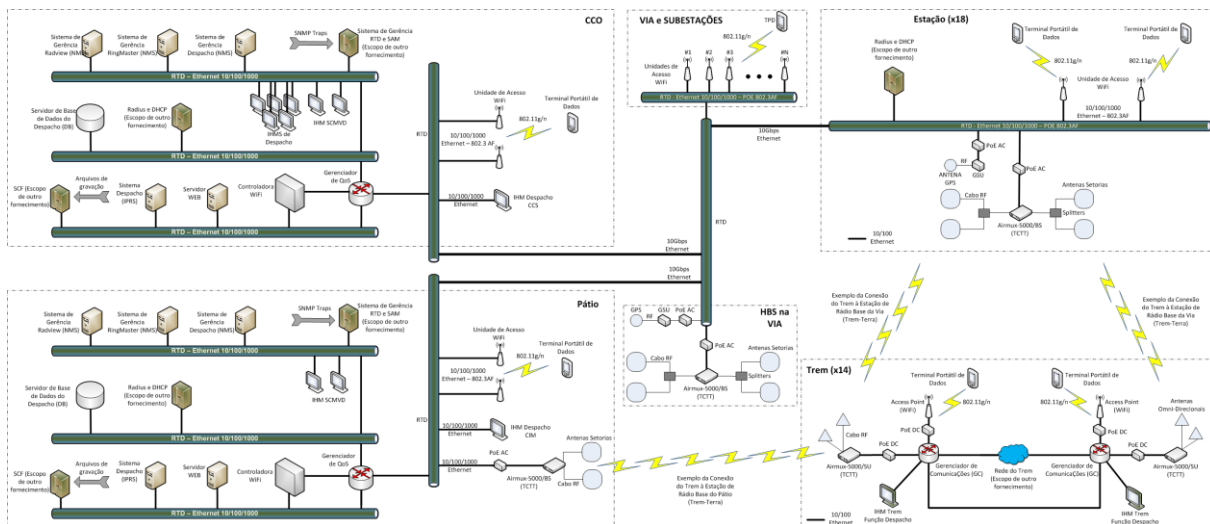
O sistema Terra-Trem será o responsável por conectar à rede ethernet do Trem à rede de transmissão de dados (RTD) das estações. Isso permitirá transportar todo e qualquer serviço ethernet existente no trem até o CCO, dentre os serviços do trem podemos destacar o CCTV (transmissão ao Vivo para o CCO), anuncio aos passageiros (PA), Intercom, etc.

O CCO é a localidade principal e ali estão os servidores e o gerenciador de QoS. O Pátio é uma localidade de Recuperação em caso de Desastres e contém os mesmos equipamentos existentes no CCO. Ambas as localidades estarão trabalhando em configuração de redundância de alta disponibilidade. Isto significa que as duas localidades estão funcionando em paralelo e, no caso de falha de uma delas, a segunda assumirá o tráfego em tempo de partida zero.

No projeto SCMVD, há 18 estações de metrô, duas subestações, 14 trens, um veículo de manutenção, um pátio, o CCO e a integração com outros sistemas e SCMVD existente no

Metrô. Cada trem possui dois GCs (Gerenciador de Comunicações) para gerenciar o tráfego de saída dos trens; e dois Rádio Móveis HMU, com duas antenas externas (cada um).

Figura 1 - Arquitetura do Sistema



3. ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO SISTEMA SCMVd

3.1. Arquitetura do Sistema

O Pátio trabalha como a localidade de Recuperação de Desastres e o CCO opera como a principal localidade. O Pátio possui os mesmos sistemas (hardware e software) da localidade principal CCO. Ambas as localidades operam com o compartilhamento da mesma subrede de endereçamento IP. O CCO e Pátio incluem os seguintes sistemas:

- Servidores de Gerenciamento de do sistema Radview.
- Os Gerenciadores de QoS, principais roteadores do CCO e Pátio que conectam todos os segmentos de rede de acordo com as regras de roteamento definidas.

Nas Estações de Metrô, estão incluídas as estações de rádio base TCTT, permitindo assim a comunicação com os trens. Nos trens, estão incluídos sistemas do Metrô como CCTV,

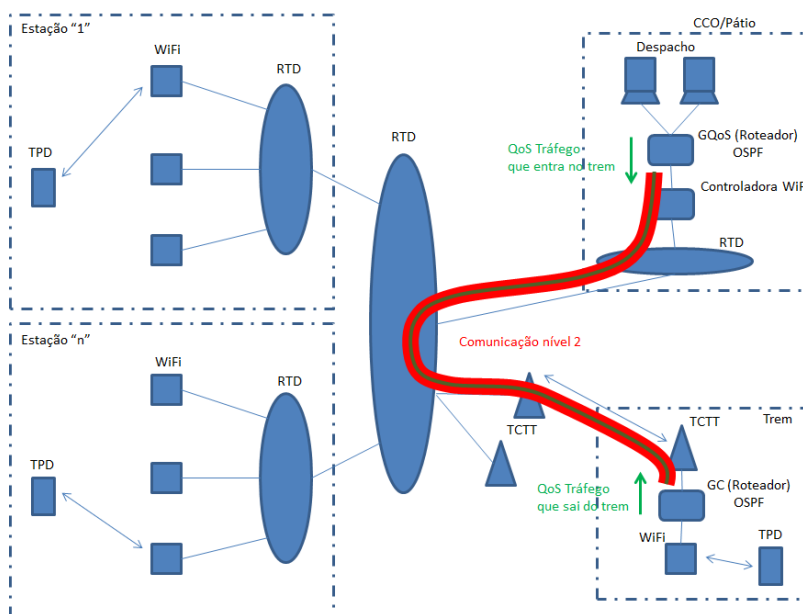
Intercom etc. Para comunicar-se com os servidores do sistema, o trem está equipado com os HMUs do TCTT e também, com os gerenciadores de comunicação.

A rede WAN RTD provê conectividade L2 entre todas as localidades do projeto do SCMVD utilizando serviços VPLS sobre arquitetura MPLS, consequentemente transformando a infraestrutura de conexão entre as localidades do SCMVD em uma rede Ethernet única.

Em cada trem haverá dois gerenciadores de comunicações (GC) que estarão interligados diretamente entre si. Cada GC conectará o HMU do trem permitindo a troca de informações com o CCO e o Pátio. Os switches dos trens, conectam-se aos GCs, permitindo assim a comunicação externa das outras aplicações do Metrô existentes nos trens. Os GCs oferecerão redundância de conectividade por meio do protocolo VRRP, oferecendo um único "default gateway".

Os GCs e os Gerenciadores de QoS utilizarão o protocolo de roteamento OSPF para construir sua tabela de roteamento e permitir o encaminhamento de dados entre os trens e o CCO e o Pátio.

Figura 2 - Roteamento entre Roteadores (GC e GQoS)





AEAMESP



Cada aplicação existente no trem terá uma VLAN específica para permitir a classificação de QoS. Para garantir o QoS de ponta-a-ponta das aplicações do SCMVD, a rede RTD deverá manter os perfis de QoS definidos desde o trem, definindo a priorização e alocação de banda para o tráfego de dados em seus elementos de acesso, agregação e core, os quais conectarão os HBSs às localidades do CCO e ao Pátio. Os perfis de QoS estarão de acordo com os parâmetros comuns e mínimos definidos nos padrões internacionais suportados pelos equipamentos (basicamente definidos pelo 802.11e). O SCMVD será o sistema de comunicação wireless no projeto da Linha 17, portanto os mecanismos de segurança que serão planejados, servirão de modo a evitar o acesso não autorizado à rede wireless. Os mecanismos de segurança planejados para a comunicação terra-trem é a criptografada por AES, login de usuário para o acesso aos roteadores e aos sistemas de gerenciamento protegidos por autenticação de usuário no servidor Radius e diferentes VLANs para diferentes tipos de tráfego. Toda a autenticação será feita no servidor Radius e a entrega dos endereços IP aos usuários será feita pelos servidores DHCP. Ambos os servidores, Radius e DHCP, estarão localizados no CCO, no Pátio e nas estações de Metrô. Os servidores das estações serão utilizados somente em caso de falha de comunicação com o CCO e Pátio, e eles deveram ter os perfis relevantes configurados para o SCMVD.

A operação com os dois HMUs em cada trem permite rápido handover de menos de 50ms e alta disponibilidade do serviço e de cobertura de RF, uma vez que ambos HMUs deverão ser conectados a diferentes HBSs durante a viagem do trem, e de acordo com o planejamento preliminar de RF. Esse mecanismo de handover será rápido o suficiente para garantir a manutenção das vizinhanças e do estado dos links entre os roteadores OSPF, evitando recálculos de topologia frequentes.



AEAMESP



3.2. Sistema Wireless para Trem-Terra

É um sistema wireless de Ponto a Multipontos que suporta conectividade wireless entre trens e estações de rádio base, que trafegam ao longo da via. As unidades das Estações de Rádio Base estarão instaladas ao longo da via de forma a prover cobertura de RF por meio de antenas setoriais. As unidades de Estação de Rádio Base serão sincronizadas via a unidade GSU que é baseada em GPS, isto prevenirá interferências entre as próprias estações de rádio base. Os demais equipamentos do SCMVD utilizarão o sincronismo do servidor NTP do SMM. As unidades das Estação de Rádio Base e o CCO estarão conectados por meio da rede RTD. Nos trens, o sistema incluirá duas unidades de rádio HMU que serão configuradas para trabalharem como principal e secundária, de forma que somente uma HMU estará transmitindo dados num determinado tempo. Ambas as unidades de rádio serão conectadas ao switch do trem por meio dos Gerenciadores de Comunicações. Cada unidade de rádio do trem estará conectada a duas antenas “Shark” instaladas no trem (na parte externa).

3.2.1. Arquitetura do Sistema de Trem-Terra

O Sistema Wireless do Trem-Terra estará baseado em três elementos primários:

- Estações de Rádio Base (HBS) serão utilizadas ao longo da via, provendo cobertura contínua e conectividade aos trens em movimento no percurso. Cada HBS será implementada com 4 antenas em “modo de diversidade completa”. As HBS estarão instaladas em cada estação do Metrô e ao longo da via em casos de não existir visada entre os rádios.
- Unidades Móveis de Rádio (HMU), instaladas no trem, com duas antenas no teto (parte externa) cada uma. O HMU agrega tráfego de/para diferentes unidades e serviços a bordo do trem, comunicando-se continuamente com as Estações de Rádio Base (HBS) mais próximas. As duas HMUs são necessárias para aumentar a cobertura de RF e a disponibilidade do serviço.



AEAMESP



- Unidade GSU (GPS Synchronization Unit) será instalada em cada localidade de Estação Base. O GSU transfere o sinal de sincronização para todos os elementos HBS numa Estação de Rádio Base utilizando um protocolo de distribuição precisa de tempo baseado no padrão RFC 1588v2. Este sincronismo das estações de rádio base permitem a alocação dos "time slots" para cada HMU, sem causar interferência mútua entre as estações de rádio base vizinhas.

A solução Trem-Terra foi planejada especificamente para o segmento de transporte. Possuindo sua interface aérea já comprovada, foi planejada para trabalhar em ambientes com alta interferência, cenários de campo de visão parcial e capacidade específicas que são requeridos pelo mercado de Transporte.

Desempenho

Cobertura estendida por uma estação de rádio base, reduzindo o número de instalações requeridas na via, economizando substancialmente os custos estruturais (por exemplo: eletricidade, rede e postes), assim como de manutenção do sistema. A latência e jitter fixos e baixos para os serviços, essencial para aplicações sensíveis ao delay como vídeo e VoIP.

Uplink e downlink configuráveis, permitindo uma relação da divisão de largura de banda, possibilitando flexibilidade e variedade de serviços utilizando a mesma infraestrutura. QoS na interface aérea, possibilitando e assegurando o nível de serviço para diferentes aplicações

Arquitetura distribuída sem ponto único de falha (não é necessária uma controladora como no WiFi).

3.2.2. Sistema de Segurança Wireless e Autenticação TCTT

A criptografia entre HMU e HBS é baseado em criptografia AES de 128-bit (EK). Essa criptografia é simétrica, ou seja, ambos os sentidos de tráfego utilizam a mesma chave para a



AEAMESP



encriptar e descriptografar os dados. O mecanismo CCM adiciona autenticação para a sessão em que assinaturas aleatórias são criadas evitando assim “reply attacks” ataques de repetição. A criptografia e a autenticação inicial são baseadas em uma chave mestra definida por usuário (com senha de link). A senha do link é usada para gerar a chave de criptografia do link inicial. Se a senha do link de um HMU está incorreta, um link é estabelecido, mas não há serviço de Ethernet disponível.

3.2.3. Funcionalidades de QoS do Rádio Trem-Terra

- Os únicos mecanismos de QoS do rádio Trem-Terra associam a classificação do tráfego ao nível de dados requisitado, enquanto asseguram a capacidade aérea do HMU.
- A nível de dados, a solução trem-terra suporta os padrões 802.1q, 802.1p, 802.1ad (QinQ) e Diffserv (QoS de Camada 3).
- Ele suporta dois critérios de classificações para separar os planos de dados, controle e gerenciamento; baseado em nível 2 VLAN e baseado em nível 3 DiffServ.
- Baseado no critério escolhido de classificação, os pacotes recebidos serão mapeados com base em uma das 4 filas.

Tabela 1 - Mapa de QoS

Descrição de Aplicações de Dados	Mapa QoS	802.11e	Trem-Terra
Fila 7: Prioridade Máxima para o Sistema de Gerenciamento de Tráfego	AC_VO	Voz (Superior)	VOZ VLAN
Fila 6: Tráfego de voz com latência e jitter menor do que 10 ms	AC_VO	Voz (Superior)	
Fila 5: Aplicações de Tráfego de Vídeo & Multimídia com Latência Interativa e Jitter menor do que 100 ms	AC_VI	Vídeo	Vídeo VLAN
Fila 4: Reservado	AC_BE	Melhor Esforço	Melhor Esforço VLAN
Fila 3: Tráfego de Missão Crítica	AC_BE	Melhor Esforço	
Fila 2: Tráfego Geral	AC_BK	Background (prioridade inferior)	Background VLAN
Fila 1: Tráfego de Transferência de Arquivos na Rede do Metrô	AC_BK	Background (prioridade inferior)	
Fila 0: Outros tráfegos de menor prioridade	AC_BK	Background (prioridade inferior)	

3.2.4. Interface Aérea

A interface aérea do Airmux baseada na tecnologia TDMA, juntamente com o algoritmo SBM (Gerenciador Inteligente de Largura de Banda), garante que não apenas a performance não será afetada quando mais unidades de usuários (HMU) estiverem conectados ao sistema, mas ao contrário, a performance (produtividade e latência) poderá ser melhorada quando tal cenário ocorrer. O algoritmo SBM é responsável por alocar quadros de rádio entre as transmissões dos rádios remotos (HMU). O propósito dessa alocação é garantir a qualidade de serviço para cada uma das unidades remotas na interface aérea (assegurando delay e performance e, em paralelo, provendo o maior pico de banda possível).

O algoritmo do SBM é desempenhado por cada unidade de rádio base. O algoritmo é baseado em alocação previa para cada uma das unidades remotas conectadas (pode ser diferente para o uplink e o downlink).



AEAMESP



A largura de banda alocada previamente define a capacidade assegurada e o delay para cada rádio. O SBM é responsável por atribuir largura de banda adicional para um rádio, seja usando a largura de banda não alocada ou redesignando uma largura de banda de downlink não utilizada entre diferentes rádios.

Quando mais HMUs se conectam ao mesmo HBS, eles são designados com faixas de tempo alocadas. Quando o SBM entra em ação, o serviço mínimo é mantido, enquanto que, quando a condição assim requer, são garantidos picos de banda.

O mecanismo assegura mínimo de banda por HMU, enquanto permite a alocação de máximo da banda, quando disponível. Devido a este mecanismo, mesmo quando houver mais de uma conexão à HMUs, não haverá degradação do serviço sob nenhuma circunstância ou condição.

3.2.5. TCP/IP e outras Considerações de SLA

Se o tráfego do setor tiver um conteúdo TCP/IP pesado (incluindo protocolos dependentes como HTTP/HTTPS), deverá permitir um número suficiente de "time slots" na direção do uplink para assegurar que as mensagens TCP/IP ACK serão transmitidas sem delay. O mesmo vale caso você esteja oferecendo um serviço backhaul com SLA, sem considerar a composição do pacote de tráfego. O sistema trem-terra utilizará o protocolo de sincronização RFC 1588v2 para sincronização do relógio dos sistemas de modo inband.

3.2.6. Mecanismo de Handover

O mecanismo de Handover do sistema wireless trem-terra é baseado nos rádios localizados nos trens. Os dois HMUs do trem operam em modo ativo / standby. Isso significa que, em um determinado momento, apenas um HMU está transmitindo dados para a estação de rádio base. Os HMUs serão conectados entre eles por uma conexão Ethernet de camada 2 em cada



AEAMESP



trem, permitindo a troca de informações de gerenciamento entre eles (não há necessidade de uma unidade centralizada para controlar o mecanismo, não existindo um ponto único de falha). Quando o HMU que está em standby obtiver uma qualidade de sinal de rádio superior do HMU ativo, eles inverterão os papéis: o HMU em standby se torna ativo e iniciará a transmissão dos dados do trem. Esse Handover é realizado em menos de 50 ms.

Basicamente, as duas HMUs de um mesmo trem realizarão sempre uma procura por novas estações de rádio base (linhas cinzas). Quando uma HMU terá sinal RF estável e de qualidade para estabelecer um link, a conexão será feita (linha verde única) e, após a troca de informações de controle entre as duas unidades HMU, o melhor link será escolhido e o tráfego de dados começará a ser transmitido / recebido.

Este mecanismo é ilustrado na Figura 4 - Mecanismo de Handover. O HMU "1" é o HMU ativo, e está conectado ao HBS "B" e transmitindo dados. O HMU "2" está simultaneamente conectado ao próximo HBS na mesma direção para a qual o trem transita (HBS "C"). Na medida em que o trem se aproxima do HBS "C", o HMU "2" informará ao HMU "1" que possui um link de comunicação de melhor qualidade e que está mudando o status para ativo. Nesse estágio, o HMU "1" alterará seu modo para standby e o tráfego de dados do trem começará a fluir do HMU "2" para o HBS "C".

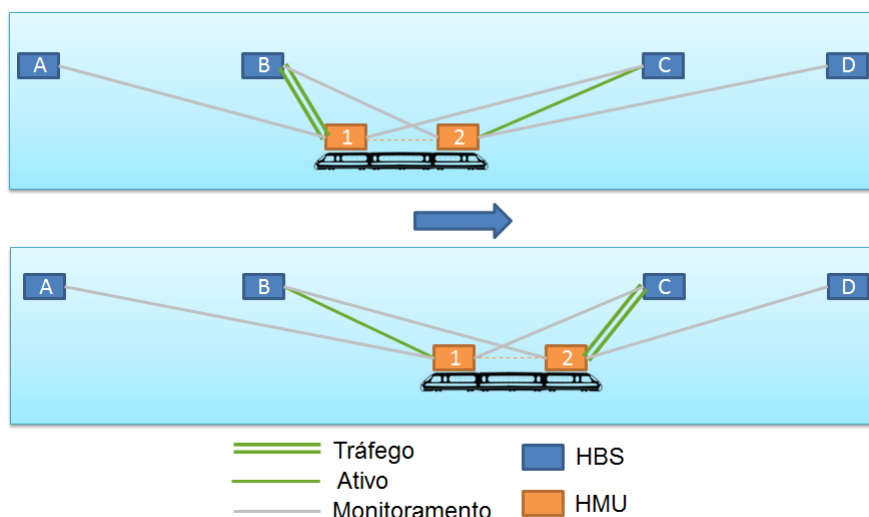
Quando o handover estiver finalizado, a conexão com o trem será feita utilizando uma nova estação de rádio base (no diagrama, a estação base C em lugar da estação base B) em um ponto diferente da rede. Para que esse processo seja transparente para a camada superior da rede, deve ser permitido que:

- Ambas as estações de rádio base possam estar no mesmo segmento de rede, camada 2, permitindo assim que a rede de nível 3 entre os Gerenciadores de Comunicação e os

Gerenciadores de QoS não tenham alterado seus endereços IP. Para que isso aconteça, um serviço de VPLS será configurado na rede RTD conectando todas as estações de rádio base à rede.

- Um processo de rede, camada 2, denominado “MAC learning” deve ocorrer para notificar a nova localização dos Gerenciadores de Comunicação dos trens na rede de camada 2. Isso será feito pela emissão de mensagens a serem enviadas pelo HMU ativo depois que o handover estiver finalizado.

Figura 3 - Mecanismo de Handover



3.2.7. Plano de Cobertura de RF

O subsistema Trem-Terra será utilizado sobre uma via de trem elevada de aproximadamente 18 [Km] e incluirá 18 estações. A tabela 2- Estações do Metro - e a figura 5 – Percurso da Via da Linha 17 - a seguir descrevem a via do trem e a posição das estações ao longo desta:

Tabela 2 - Estações do Metrô

#	Nome do Site	Coordenadas	
		Latitude	Longitude
1	Sao Paulo- Morumbi	-23.586907	-46.724136
2	Estadio Morumbi	-23.59683	-46.720155
3	Americo Maurano	-23.613002	-46.720851
4	Paraisopolis	-23.61964	-46.723602
5	Panamby	-23.628515	-46.715754
6	Morumbi	-23.621682	-46.700948
7	Churcri Zaidan	-23.618587	-46.698767
8	Vila Cordeiro	-23.615658	-46.688506
9	Campo Belo	-23.618858	-46.683226
10	Vereador Jose Diniz	-23.622065	-46.678922
11	Brooklin Paulista	-23.629472	-46.673678
12	Jardim Aeroporto	-23.634107	-46.668132
13	Vila Paulista	-23.637721	-46.662788
14	Vila Babilonia	-23.643699	-46.657644
15	Cidade Leonor	-23.650414	-46.651636
16	Hospital Saboia	-23.653092	-46.644886
17	Jabaquara	-23.647391	-46.640948
18	Congonhas	-23.626722	-46.66143

Figura 4 - Percurso da Via da Linha 17



O plano de RF para o subsistema Trem-Terra é baseado na colocação de unidades HBS nas estações do Metrô, adicionando unidades ao longo da via de acordo com a necessidade. O

resultado possibilitará condições de LOS todo o tempo entre as estações de rádio base e as unidades móveis instaladas no trem.

- O planejamento de RF é apresentado em duas resoluções:

Para o estágio 1 do projeto, um planejamento detalhado é apresentado levando em consideração diferentes obstruções à RF ao longo da via, incluindo o posicionamento das antenas e da estação de rádio base.

- Para outros estágios do projeto, um planejamento preliminar é apresentado incluindo somente a posição das estações de rádio base. Isso se dá devido à indefinição do percurso completo da via e de seu ambiente próximo (para um planejamento confiável de RF, deve ser provido um modelo 3D da via do trem e seu ambiente próximo com resolução de ~1m).

3.2.8. Planejamento de Cobertura de RF Estágio 1

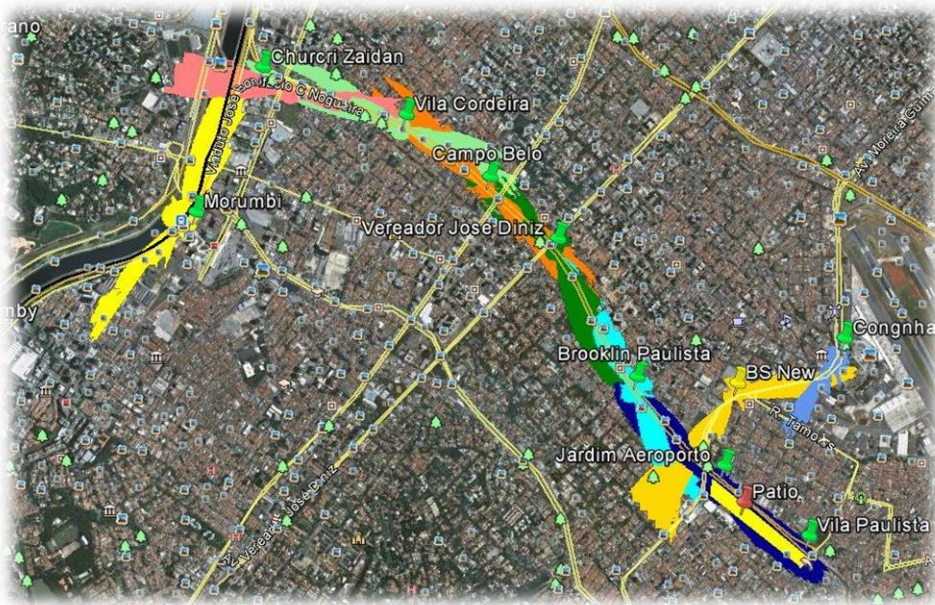
A tabela 2 – Posições do HBS, estágio 1- e o diagrama 6 - Plano de Cobertura de RF Para o Estágio 1 - a seguir mostram o posicionamento e a cobertura dos rádios HBS do estágio 1 do projeto. A análise de cobertura foi feita utilizando a ferramenta de Design de RF "Mentum Planet", que apresenta dados DTM (Digital Terrain Model) incluindo modelos 3D de prédios, pontes e outras infraestruturas civis. Essa ferramenta também inclui vários modelos de propagação de RF para ambientes urbanos e permite um planejamento urbano confiável de RF.

Como detalhado acima, o planejamento de RF inclui a implementação de estações de rádio base em todas as estações. Além disso, outra estação de rádio base é requerida (indicada como "BS new ") no segmento que conduz à estação Congonhas.

Tabela 3 – Posicionamentos das HBS para o Estágio 1

ID da Localidade	Antenas Azimuth	Altura da Antena em Relação ao Solo (m)	Latitude	Longitude
Brooklin Paulista	150°+330°	25	-23.6295	-46.6737
Campo Belo	130°+310°	25	-23.6188	-46.6832
Churcri Zaidan	95°+275°	25	-23.614	-46.6954
Congnhas	130°+310°	25	-23.6272	-46.6619
Jardim Aeroporto	130°+310°	25	-23.6345	-46.6683
Morumbi	20°+210°	25	-23.6214	-46.7017
BS New	75°+210°	25	-23.6295	-46.6676
Vereador Jose Diniz	150°+310°	25	-23.622	-46.6789
Vila Cordeira	110°+290°	25	-23.6156	-46.6885

Figura 5 - Plano de Cobertura de RF Para o Estágio 1



A áreas indicadas em colorido ao longo do nosso descritivo representam a cobertura de RF das estações de rádio base do Trem-Terra (as cores diferentes representam a cobertura RF das diferentes estações de rádio base). Em áreas de sobreposição, somente o sinal mais forte é exibido. A cobertura mostrada neste diagrama 6 - Plano de Cobertura de RF Para o Estágio 1- refere-se a áreas onde as modulações e a largura de banda obtidas serão máximas a

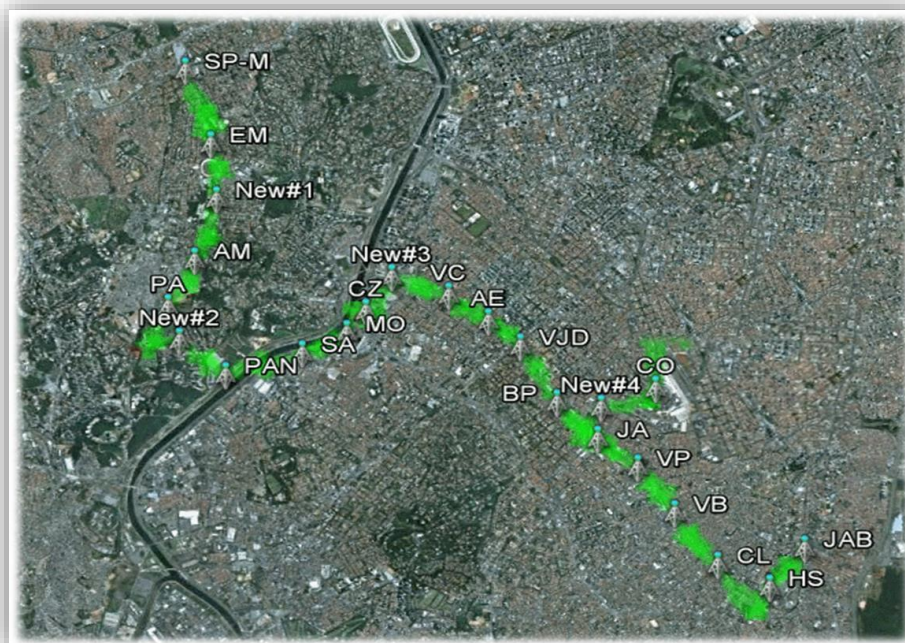
(45Mbps). Pode ser esperada uma cobertura mais ampla nos perímetros de áreas mostrados neste diagrama, possibilitando a comunicação com velocidades mais baixas.

O diagrama acima também mostra que a área do Pátio está coberta a partir do HBS da via. Além disso, em função da quantidade de trens na área do Pátio, serão colocados HBSs adicionais e dedicados.

3.2.9. Planejamento de Cobertura da Linha Completa

A figura a seguir mostra o planejamento de RF para toda a via da Linha 17. Esse planejamento preliminar foi obtido utilizando a ferramenta “Planejador de RF”, a qual não possui dados de infraestrutura civil e utiliza somente o modelo de espaço livre. Esse planejamento de RF indicou a necessidade de três estações base adicionais ao longo da via para permitir condições LOS entre as estações de rádio base e as unidades móveis do trem.

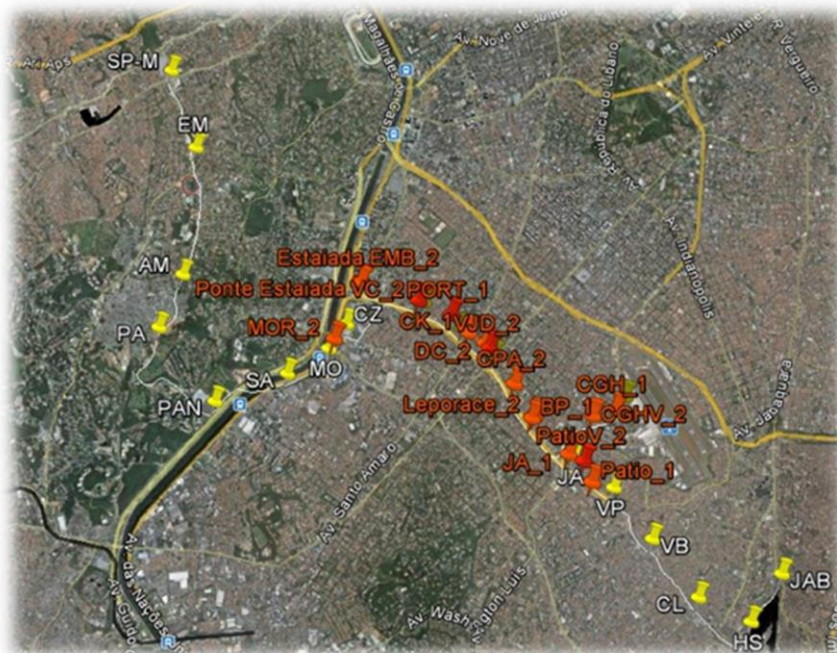
Figura 6 - Planejamento Preliminar de RF da Linha 17 – Percurso completo



3.2.10. Análises de Espectro do subsistema Terra-Trem

Os resultados do espectro trem-terra estão de acordo com o teste realizado em 17 de março de 2014. Os testes realizados incluem a recepção de sinais de RF em diferentes bandas na faixa de 5GHz, nas quais o subsistema Terra-Trem opera. Os testes foram realizados em vários pontos ao longo da via para o estágio 1 do projeto da Linha 17. As localidades de medição estão marcadas com pinos laranjas na “Figura 7 - Pontos de Teste”

Figura 7 - Pontos de Teste



O teste foi realizado utilizando um equipamento de análise de espectro, modelo – SPCRAN HF-6015. Devido a inviabilidade de acesso à via, os testes foram realizados a nível da rua.

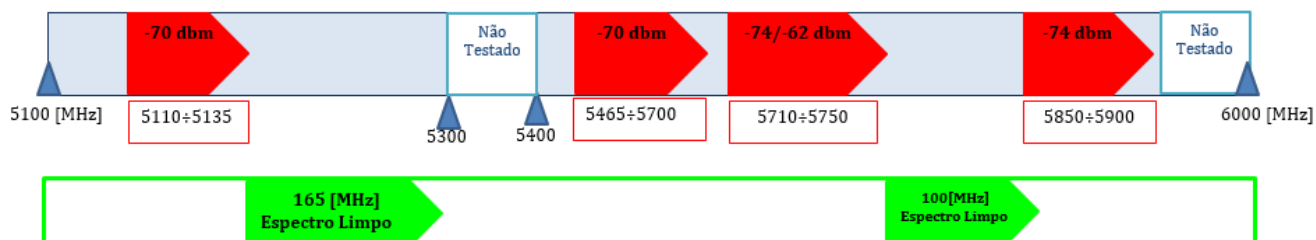
3.2.11. Resultados do Teste

A “Tabela 4 - Resultados do Teste de Espectro do Subsistema Trem-Terra” a seguir descreve os resultados do teste de espectro:

Tabela 4 - Resultados do Teste de Espectro do Subsistema Trem-Terra

		Banda de Interferência de Espectro					
	Localidade	5.1÷5.3 [GHz]		5.4÷5.7 [GHz]		5.7÷5.9 [GHz]	
		[MHz]	[dbm]	[MHz]	[dbm]	[MHz]	[dbm]
1	CGH_1	5110÷5130	(-84)	Clear		5805÷5850	(-84) ÷ (-88)
2	CGHV_2	5110÷5130	(-83)	Clear		5805÷5850	(-85) ÷ (-88)
3	BP_1	5110÷5130	(-72)	Clear		5805÷5850	(-83) ÷ (-88)
9	Leporace_2	5115÷5125	(-78)	Clear		5710÷5750	(-74)
						5800÷5850	(-83) ÷ (-90)
4	CK_1	Clear		5550÷5650	(-88) ÷ (-92)	5800÷5850	(-84) ÷ (-90)
5	CPA_2	5115÷5120	(-88)	Clear		5805÷5850	(-84) ÷ (-90)
6	DC_2	5115÷5130	(-84) ÷ (-90)	Clear		5805÷5850	(-83) ÷ (-90)
						5785÷5795	(-85) ÷ (-90)
7	Estaiada EMB_2	5115÷5130	(-80) ÷ (-88)	5565÷5585	(-82)	5805÷5850	(-85)
8	JA_1	5115÷5125	(-87)	Clear		5905÷5850	(-84) ÷ (-90)
10	MOR_2	5115÷5135	(-72)	5465÷5500	(-66) ÷ (-74)	5780÷5860	(-84) ÷ (-90)
11	Pátio_1	5115÷5135	(-86)	Clear		5850÷5900	(-74)
12	PátioV_2	5110÷5120	(-79)	5650÷5670	(-83)	5800÷5890	(-84) ÷ (-90)
13	Ponte Estaiada	5115÷5135	(-62)	5560÷5700	(-58)	5800÷5890	(-65) ÷ (-78)
14		5115÷5135	(-70)	5100	(-70)	5800÷5900	(80) ÷ (-90)
				5550÷5650	(-80)		
15	PORT_1	5115÷5135	(-80)	5540÷5600	(-79)	5800÷5900	(-80) ÷ (-90)
16	VC_2	5115÷5135	(-83)	Clear		5785÷5890	(-82) ÷ (-90)
17	VJD_2	5115÷5135	(-83)	5680÷5700	(-70)	5735÷5745	(-62)

A “Figura 8 - Frequências Ocupadas” abaixo apresenta um resumo dos resultados:

Figura 8 - Frequências Ocupadas


De acordo com esse gráfico, as melhores faixas de frequência para operar o subsistema Trem-Terra são:

- Banda Total de 100 [MHz]; em 5750 ÷ 5850 [MHz]



AEAMESP



- Banda Total de 165 [MHz]; em 5135 ÷ 5300 [MHz]

3.4. SISTEMAS DE REDE

3.4.1. Visão Geral

O sistema de Rede do projeto da Linha 17 do Metrô SP pretende servir como infraestrutura de comunicação a ser utilizada por todos os sistemas do SCMVD.

Os principais componentes do sistema de Rede são:

Gerenciadores de QoS – Utilizados no CCO e no Pátio e implementados por Roteadores MX-5 da Juniper, os Gerenciadores de QoS atuam como ponto central do SCMVD, gerenciando todo o tráfego entre os Data Centers, as estações e os trens.

Os gerenciadores de QoS atuam como Default Gateways para as VLANs locais no CCO e nas estações, as quais não têm um elemento do SCMVD local de camada 3. Estes implementarão VRRP para fins de redundância. Dessa forma, mesmo que um dos Gerenciadores de QoS falhe, a conectividade com essas VLANs não se perderá. A conectividade de camada 2 entre os gerenciadores de QoS e os elementos do SCMVD no CCO e no Pátio, e a conectividade entre os Gerenciadores de QoS e os elementos remotos nas estações de Metrô, será feita utilizando switches do RTD e a rede VPLS, respectivamente. Os Gerenciadores de QoS conectam os Gerenciadores de Comunicação do trem por meio de links lógicos de camada 3 (implementados sobre a infraestrutura de camada 2 provida pelo sistema TCTT e pela rede RTD IP/MPLS), e aplica a política de QoS para o tráfego de entrada do trem.

Gerenciadores de Comunicação (GC) – Utilizados nos trens e implementados pelos Roteadores SRX-100 da Juniper, os GCs gerenciam todo o tráfego das aplicações existente no

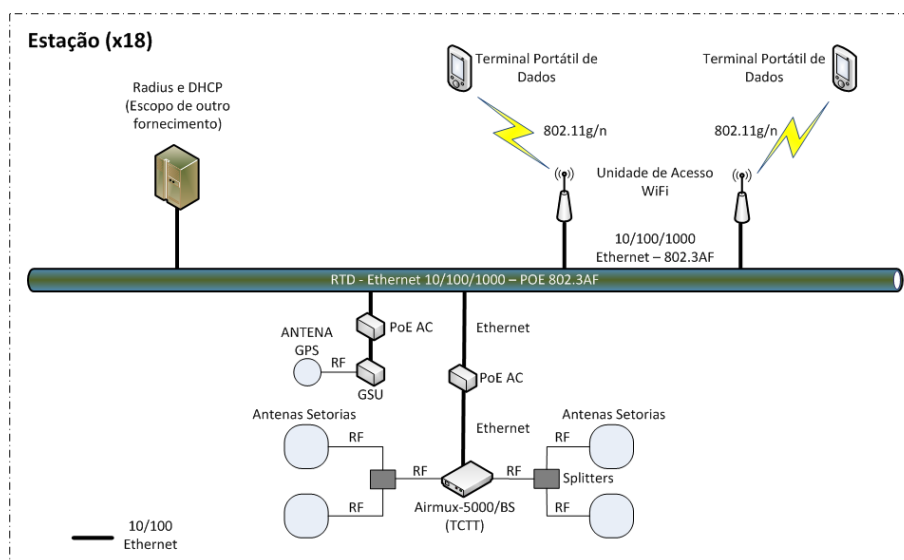
trem. Os roteadores do GC atuam como gateways de comunicação dos trens, controlando todo o tráfego de saída do trem para as localidades do CCO e do Pátio.

Os roteadores do GC conectam-se aos Gerenciadores de QoS através da infraestrutura de camada 2 provida pelo sistema TCTT e pela rede RTD. A publicação de endereços (subnets) e troca de rotas entre os Gerenciadores de Comunicações e de QoS atuam utilizando o protocolo de roteamento OSPF.

Rede RTD IP/MPLS – A rede RTD IP/MPLS atua como a infraestrutura que conecta todas as estações da Linha 17 e as localidades principais. O RTD IP/MPLS permite conectividade entre as localidades, na camada 2, entre os elementos que constituem o SCMVD utilizando serviços de VPLS. Essa conectividade a nível de camada 2, é utilizada para o fornecimento de dados, de camada 3, entre o trem e as localidades do CCO e do Pátio, como descrito acima, e para conectar usuários do WiFi, APs e TCTT ao seu default gateway (camada 3) implementados nos Gerenciadores de QoS.

3.4.2. Arquitetura das Estações

Figura 9 - Arquitetura de Rede de Estação do Metrô



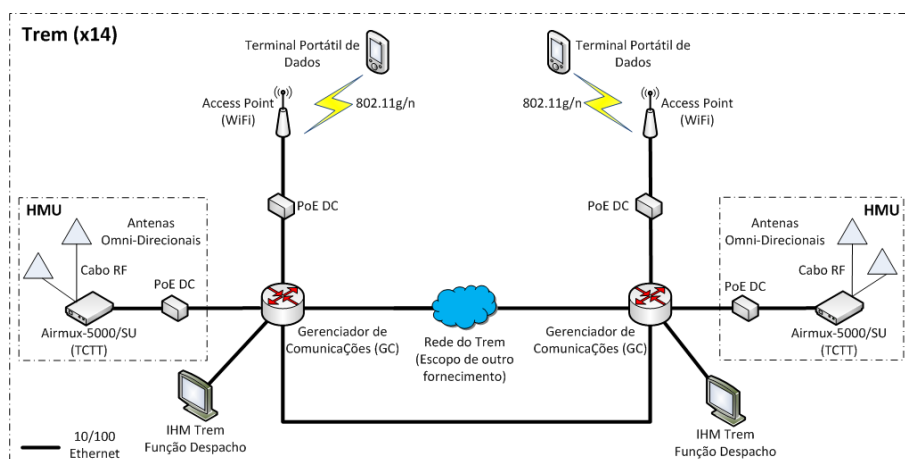
Os elementos do SCMVD nas estações de Metrô incluem as estações de rádio base TCTT (HBS+GSU). Isso propicia a comunicação aos trens na área de cobertura, APs para o acesso de WiFi na estação e um servidor geral para o acesso ao gerenciamento do SCMVD.

Os elementos do SCMVD serão mapeados para suas correspondentes VLANs e transmitidas utilizando o tráfego de serviço entre localidades baseado no VPLS para os gerenciadores de QoS no CCO e no Pátio, atuando como default gateways.

A exceção a ele é a VLAN TCTT Sync utilizada para sincronização baseada em GPS interna no HBS. O processo de sincronização inclui que o HBS receba um sinal GPS enviado do GSU pela rede utilizando Protocolo de Tempo Preciso 1588v2. Para garantir sua correta operação, a funcionalidade 802.3az EEE (Ethernet de energia eficiente), se presente, deverá ser desabilitada. O TCTT Sync limita-se à estação e não deve passar pelo CCO, Pátio ou outras localidades.

3.4.3. Arquitetura do Trem

Figura 10 - Arquitetura Física do Trem



Além dos GCs, os seguintes equipamentos do SCMVD estarão localizados dentro do trem:

- Antenas de Rádio e HMUs



AEAMESP



O trem conecta-se à estação utilizando o rádio trem-terra baseado no HMU. Há duas unidades no trem, e somente um HMU transfere dados para o HBS ao mesmo tempo. Isso é estabelecido pelo gerenciamento de troca de informações entre as duas unidades HMU no mesmo trem. Quando o status do RF muda e o HMU em standby começa a transferir dados em lugar do outro, o handover de 50 ms ocorre rápido o suficiente para que o OSPF não detecte a queda e retome a conectividade no link.

Os roteadores GC implementam nível 2 para prover a troca de informações de controle entre as unidades HMUs.

3.4.4. Mecanismos de alta disponibilidade da Rede

A alta disponibilidade da rede do SCMVD é obtida utilizando hardware redundante e protocolos dinâmicos. A redundância do hardware inclui Gerenciadores de QoS redundantes no CCO, tendo o Gerenciador de QoS principal instalado no CCO e o Gerenciador de QoS backup no Pátio (para o aumento da resiliência física, cada roteador deve ter fontes de energia redundantes). A redundância do hardware também é obtida nos trens do Metrô com roteadores de GC redundantes, HMUs redundantes e antenas.

A alta disponibilidade da rede também é obtida através do uso de protocolos dinâmicos no sistema SCMVD:

VRRP – Os gerenciadores de QoS no CCO implementaram um Protocolo de Redundância do Roteador Virtual (VRRP) para cada segmento local no CCO e nas estações (todas as VLANs mencionadas anteriormente, com exceção da VLAN TCTT Data). Em cada VLAN, os gerenciadores de QoS geram um IP virtual atuando como default gateway para os componentes de cada segmento/VLAN. Em caso de falha do Gerenciador de QoS primário, os



AEAMESP



componentes continuarão a operar e direcionaram o tráfego para o Gerenciador de QoS secundário no Pátio.

OSPF – Os gerenciadores de QoS utilizarão o protocolo de divulgação de subrede Open Shortest Path First (OSPF), e a distribuição de rota entre o CCO e os trens do Metrô. Esse é um protocolo dinâmico que permite rápida recuperação em caso de falha do Gerenciador de QoS primário. Nesse caso, novas rotas serão divulgadas pela rede, direcionando o fluxo de tráfego dos trens para o Gerenciador de QoS secundário no Pátio.

Os switches do RTD e a rede lógica IP/MPLS, que conectam as localidades CCO e Pátio entre elas e com todas as outras estações do Metrô, são elementos cruciais da arquitetura do CCO. Dessa forma, adicionalmente aos mecanismos implementados no SCMVD, medidas apropriadas para garantir sua disponibilidade devem constar no desenho do RTD. Tais medidas devem incluir uma arquitetura redundante sem ponto único de falha de forma geral, e, particularmente, com os seguintes mecanismos:

- Todos os links locais nas localidades CCO e Pátio deverão ser conectados à rede RTD utilizando um Link de Agregação (LAG) e, preferencialmente, interfaces de Agregação de Link Multi Chassis (MC-LAG). Isso significa que conexões redundantes devem ser posicionadas entre o equipamento do SCMVD e os switches locais do RTD. O uso de protocolo LAG permite que os links redundantes operem como um único link virtual e redundante. Além disso, o MC-LAG aumenta a resiliência e permite a conexão de um único elemento do SCMVD a múltiplos switches do RTD, e ainda manter a virtualização de um único link de conexão. Com o uso desses protocolos, a falha em um link de conexão, ou mesmo de um switch de conexão (utilizando MC-LAG) não causará falha na conectividade dos elementos do SCMVD. Para

aumentar a resiliência e para propósitos de operabilidade, os LAGs devem ser dinamicamente estabelecidos e mantidos utilizando o Protocolo de Controle de Agregação (LACP).

- O serviço de VPLS que conecta as localidades do CCO e as estações de Metrô deve incluir links e trajetórias redundantes entre as localidades da rede, proteção e mecanismos de restauração rápida, além de alocação da largura de banda suficiente (como detalhado a seguir), com mecanismos apropriados de QoS que priorizem o tráfego do SCMVD.

3.4.5. QoS

Os Mecanismos de QoS serão utilizados na rede do SCMVD para garantir a prioridade e o desempenho do tráfego crítico. Entre os mecanismos, incluem a classificação do tráfego, a aplicação da marcação correta e a utilização de diferentes mecanismos de transferência utilizados para priorizar o tráfego crítico, evitando congestionamentos.

A Arquitetura de QoS do SCMVD será baseada em mecanismos independentes de QoS em todos os sistemas do SCMVD. Esses mecanismos de QoS, de acordo com a Classificação Diffserv e marcação do tráfego do SCMVD, será realizada pelo Gerenciador de QoS e os roteadores do GC. Para simplificar, a classificação será baseada em porta / VLAN.

Nos roteadores GC serão definidas as bandas mínimas para garantir as aplicações críticas, como vídeo e voz.

3.4.6. Segurança

O sistema SCMVD será protegido de acordo com a seguinte implementação:

- VLANS serão utilizadas para separar tráfego de aplicação. A comunicação entre VLANS será controlada por Listas de Acesso implementadas nos roteadores de GCs e nos Gerenciadores de QoS.



AEAMESP



- Será utilizada criptografia nos links de wireless.
- Onde aplicável, serão utilizadas versões de protocolos de segurança como SSL, SNMPv3 com diferentes cadeias e comunidades etc.

3.6. SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE REDE

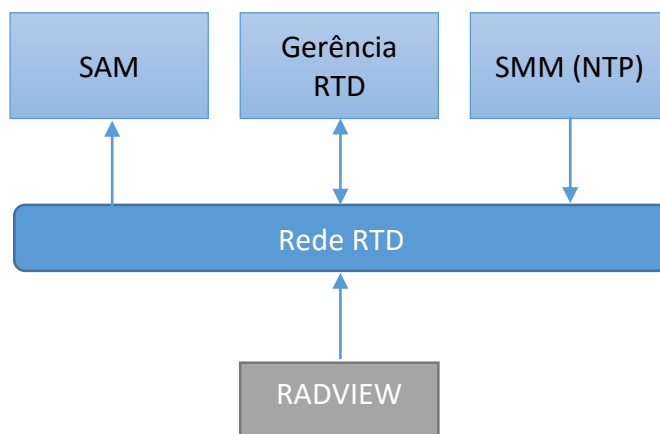
3.6.1. Visão Geral

O Sistema de Gerenciamento de Rede do SCMVD será composto pelos seguintes sistemas de gerência dos elementos (EMS), de acordo com o elemento de rede:

Radview: Trem-Terra e Roteadores GC / Gerenciamento de QoS;

O sistema de gerenciamento do RTD será o NMS tanto para o SCMVD como para os elementos do RTD, e este reportará os eventos ao SAM.

Figura 11 – Arquitetura do Sistema de Gerência



Os eventos poderão ser classificados em diferentes níveis, de acordo com a severidade do alarme. Os eventos serão sincronizados por um servidor NTP central. O endereço de IP do servidor NTP deverá ser fornecido para ser configurado nos sistemas do SCMVD.

Os sistemas de gerenciamento de elementos estarão localizados nas principais localidades do projeto, o CCO e o Pátio, por motivos de redundância. Os elementos de rede do SCMVD



AEAMESP



estarão aptos a continuar a operar em caso de falha do sistema de gerenciamento, o que significa que estes não são sistemas críticos para o funcionamento do SCMVD. Os servidores de gerenciamento Radview estarão instalados na VLAN de gerencia. O IHM operacional o qual incluía todos os clientes dos aplicativos de NMS (“All in One”) estará localizado na VLAN de gerencia.

3.6.2. Protocolos

O sistema de gerenciamento suporta SNMP v1 a v3 (para segurança) para a comunicação com elementos de rede. Adicionalmente, o acesso direto ao equipamento será possível por meio de Telnet ou acesso Web.