

FERNANDO DE BARROS RAGOINETTE
RAMÓN ANGEL CARBALLO

**ELABORAÇÃO DE RECOMENDAÇÕES PARA AS ETAPAS DE
CONCEPÇÃO E COMISSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE
SINALIZAÇÃO COM TECNOLOGIA DE “BLOCO MÓVEL”**

Trabalho de conclusão apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo, curso de Especialização
“lato-sensu” em Tecnologia Metro-
Ferroviária desenvolvido no âmbito do
Programa de Educação Continuada em
Engenharia – PECE.

São Paulo
2007

**FERNANDO DE BARROS RAGOINETTE
RAMÓN ANGEL CARBALLO**

**ELABORAÇÃO DE RECOMENDAÇÕES PARA AS ETAPAS DE
CONCEPÇÃO E COMISSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE
SINALIZAÇÃO COM TECNOLOGIA DE “BLOCO MÓVEL”**

Trabalho de conclusão apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo, curso de Especialização
“lato-sensu” em Tecnologia Metro-
Ferroviária desenvolvido no âmbito do
Programa de Educação Continuada em
Engenharia – PECE.

Orientador:
Prof. Dr. João Batista Camargo Júnior

São Paulo
2007

ESP/TMF
2007
R 127 e

DEDALUS - Acervo - EPEL



31500019010

M 2007 CD

1794239

FICHA CATALOGRÁFICA

Ragognette, Fernando de Barros; Carballo, Ramón Angel;
Elaboração de Recomendações para as etapas de Concepção e
Comissionamento de um Sistema de Sinalização com
tecnologia de “Bloco Móvel”, 2007.
69p.

Monografia – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1. Sistemas de Sinalização. 2. CBTC 3. Metodologia de Analise.
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

AGRADECIMENTOS

Às nossas esposas e filhos pela paciência, compreensão e apoio na realização deste trabalho.

Ao nosso orientador Prof. Dr. João Batista, pela orientação e pela sua presença motivacional.

Aos colegas do Metrô e do curso de Tecnologia Metroferroviária.

Às empresas que forneceram informações técnicas.

À Secretaria de Transportes do Estado de São Paulo, à Companhia do Metropolitano de São Paulo, à Companhia Paulista de Trens Metropolitanos pela iniciativa na criação do curso de Tecnologia Metroferroviária e pelo privilégio de nossa participação.

E a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram na execução deste trabalho.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
RESUMO.....	2
ABSTRACT	3
LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E DEFINIÇÕES	4
1 INTRODUÇÃO	6
1.1 OBJETIVO	6
1.2 ESTRUTURA	7
2 SISTEMA DE SINALIZAÇÃO	8
2.1 HISTÓRICO.....	8
2.2 SISTEMA DE SINALIZAÇÃO “BLOCO FIXO”	9
2.3 SISTEMA DE SINALIZAÇÃO “BLOCO MÓVEL”	11
3 METODOLOGIA ADOTADA	13
4 ARQUITETURAS TÍPICAS DE UM SISTEMA DE SINALIZAÇÃO DE BLOCO MÓVEL	16
4.1 PESQUISA E LEVANTAMENTO DAS ARQUITETURAS DE FORNECEDORES DE SISTEMA CBTC.16	
4.2 ELABORAÇÃO DAS ARQUITETURAS TÍPICAS	28
5 MÉTODOS UTILIZADOS PARA ANÁLISE.....	35
5.1 HAZOP [20]	35
5.2 ÁRVORE DE FALHAS	36
6 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE ANÁLISE SOBRE A ARQUITETURA TÍPICA I.....	38
6.1 APLICAÇÃO DA TÉCNICA HAZOP	39
6.2 APLICAÇÃO DA TÉCNICA ÁRVORE DE FALHAS	48
7 RECOMENDAÇÕES.....	52
7.1 RECOMENDAÇÕES OBTIDAS ATRAVÉS DA TÉCNICA HAZOP	52
7.2 RECOMENDAÇÕES OBTIDAS PELA ÁRVORE DE FALHAS	63
7.3 RECOMENDAÇÕES COMPLEMENTARES	65
8 CONCLUSÕES.....	67
8.1 FUTUROS TRABALHOS	68
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

RESUMO

A Companhia do Metropolitano de São Paulo - METRÔ está na eminência de adquirir Sistemas de Sinalização com tecnologia de “Bloco Móvel”, para a nova Linha - 4 e na modernização das atuais Linhas 1, 2 e 3, pois esta tecnologia proporcionará uma série de vantagens em relação às atualmente utilizadas, como a otimização da linha em sua capacidade de viagens, intervalos menores entre trens, economia de energia elétrica, diminuição da frota comercial e menores custos de manutenção e operação.

Por se tratar de uma tecnologia sem precedentes no país e que possui uma concepção totalmente diferente da atual, muitos requisitos e tipos de testes de aceitação não são mais aplicáveis e outros novos surgirão.

Este trabalho, através de pesquisas, reuniões técnicas, aplicação de métodos e análises críticas, possibilitou a geração de uma série de Recomendações, que irão auxiliar o METRÔ nas futuras especificações e comissionamento deste novo Sistema de Sinalização.

ABSTRACT

The company of the metropolitan of São Paulo - METRÔ is in the eminence to acquire Systems of Signalling with technology of "Mobile Block", for new Line - 4 and in the modernization of current Lines 1, 2 and 3, therefore this technology will provide a series of advantages in relation to currently used, as improving the line in its capacity of trips, minors intervals between trains, economy of electric energy, reduction of the commercial fleet and minors costs of maintenance and operation. For if dealing with a technology without precedents in the country, and that it total possesss a different conception of the current one, many requirements and types of acceptance tests they are not more applicable and other news will appear. This work, through research, meetings techniques, critical application of methods and analyses, made possible the generation of a series of Recommendations, that will go to assist the METRÔ in the future specifications and acceptance of this new System of Signalling.

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E DEFINIÇÕES

ATC – Controle Automático de Trens.

ATO – Operação Automática de Trens.

ATP – Proteção Automática de Trens.

ATS – Supervisão Automática de Trens.

Autorização Limite de Movimento (ALM) – Posição segura definida pelo sistema que não pode ser ultrapassada pelo trem.

Balisa – Equipamento utilizado como instrumento de aferição da posição dos trens.

Bloco – Representa um trecho de via, também denominado de circuito de via.

CBTC – Controle de Trens Baseado em Comunicações.

Driverless – Operação Automática (sem operador)

Freio de emergência - Define uma classe de aplicação de frenagem em determinadas situações de risco, identificadas pelo sistema, que não serão atendidas pelo freio de serviço.

Headway – Representa o intervalo de tempo entre dois trens. É calculado para o trajeto da linha inteira considerando inclusive o tempo de parada e manobra no fim da via.

IEEE-1474-1 – Norma que define os requisitos funcionais e de desempenho do sistema CBTC.

Jerk – Variação da aceleração no tempo.

Limite de velocidade civil – É a velocidade máxima determinada pelo projeto da via considerando curvas, retas, inclinação (grade) e equipamentos instalados na via.

Mapa da via – Representa algumas características técnicas da via, visando o controle de movimentação dos trens. Exemplo: grade, curvas, restrições civil, etc.

MCH - Máquina de Chave.

Onboard – Processamento realizado pelo controle à bordo dos trens.

Perfil de velocidade – Velocidades dinâmicas estabelecidas pelo sistema.

Ponto Alvo ou Ponto de Conflito - Posição segura definida pelo sistema que não pode ser ultrapassada pelo trem.

Restrição de velocidade – É um limite de velocidade imposto pelo sistema em um determinado trecho de via.

SAT – Supervisão Automática de Trens

Sinal / Função Vital – Sinal diretamente relacionado à Segurança do Sistema.

Sinal / Função não Vital - Sinal não relacionado à Segurança do Sistema.

Sistema Auxiliar de via – Equipamentos que auxiliam na proteção da movimentação dos trens, incluindo a substituição do CBTC nos casos de degradação para realizar a detecção dos trens.

Sentido de Movimento – Define o sentido de movimento dos trens na via.

Zona de Controle – Região da via que tem a capacidade de controlar um número determinado de trens.

1 INTRODUÇÃO

A demanda crescente pelo transporte metro-ferroviário tem exigido de operadoras e fornecedores de sistemas em todo o mundo, o estudo de soluções que aumentem a capacidade de transporte e melhorem a qualidade do serviço prestado. Com esse novo cenário, novas tecnologias e soluções vêm sendo implantadas e estão permitindo que operadoras consigam obter maior segurança e eficiência de suas malhas de transporte, com custos de implantação e operacionais inferiores aos praticados. Os Sistemas de Sinalização de tecnologia de “Bloco Móvel”, possibilitam a otimização da linha em sua capacidade de viagens, velocidades, intervalos entre trens, economia de energia elétrica, quantidades de trens, manutenção e operação. Este sistema, além das vantagens já descritas, possibilita também a prestação de serviço de forma totalmente automática, ou seja, o funcionamento da linha sem a necessidade do operador de trem, que no Sistema atual do Metrô desempenha funções de reversão de cabine e atuação manual para isolação dos Sistemas de Frenagem e Tração do trem, em condições de falha.

Como já vem ocorrendo com as operadoras do mundo todo, o Metrô de São Paulo também pretende adotar este sistema nas novas linhas e na modernização das atuais.

Por se tratar de uma inovação tecnológica sem precedentes dentro do nosso país, até hoje não temos praticamente nenhuma experiência com esta nova tecnologia. Esta monografia vem contribuir no entendimento desta nova Tecnologia de forma a identificar os aspectos críticos de tal sistema, e fornecer subsídios para o Metrô nas etapas de especificação, implantação e de testes do comissionamento, antes de sua liberação para a operação comercial.

1.1 Objetivo

A proposta deste trabalho é a elaboração de recomendações que possibilitem ao Metrô testar e comissionar um sistema de “Bloco Móvel”, para

- a) Modernização do Sistema de Sinalização das atuais Linhas 1,2 e 3;
- b) Comissionamento do Sistema de Sinalização da Linha 4 do Metrô de São Paulo;
- c) Implantação de novas Linhas.

1.2 Estrutura

Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

- **Capítulo 1 – INTRODUÇÃO**
É apresentada de forma sucinta uma introdução contendo a motivação do trabalho, qual é seu objetivo e como ele foi estruturado.
- **Capítulo 2 – SISTEMA DE SINALIZAÇÃO**
É apresentada uma síntese da evolução dos Sistemas de Sinalização metro-ferroviário, desde os primeiros que se utilizam apenas de sinais até os mais modernos que possuem redes de rádio para localização dos trens.
- **Capítulo 3 – METODOLOGIA ADOTADA**
É apresentada toda a metodologia adotada para a realização deste trabalho.
- **Capítulo 4 – ARQUITETURAS TÍPICAS DE UM SISTEMA DE SINALIZAÇÃO COM TECNOLOGIA DE “BLOCO MÓVEL”**
É apresentado inicialmente, o resultado da pesquisa e análise realizada entre empresas fornecedoras de Sistema de Sinalização de “Bloco Móvel”. Com base neste levantamento, foram geradas duas arquiteturas, chamadas de Arquiteturas Típicas I e II, nas quais estão representados os aspectos mais importantes a serem considerados para aplicação dos métodos para obtenção das recomendações.
- **Capítulo 5 – METODOS UTILIZADOS PARA ANÁLISE**
É apresentada uma descrição sucinta dos dois métodos (HAZOP e Árvore de Falhas) que foram utilizados para análise das Arquiteturas Típicas e geração das recomendações.
- **Capítulo 6 – APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE ANÁLISE SOBRE A ARQUITETURA TÍPICA I**
É apresentada a aplicação dos métodos sobre a Arquitetura Típica I, que é a mais utilizada, para obtenção das Recomendações.
- **Capítulo 7 – RECOMENDAÇÕES**
São geradas as recomendações, através da análise dos dados obtidos pela aplicação das técnicas.
- **Capítulo 8 – CONCLUSÃO**
São apresentadas as dificuldades, expectativas, ganhos deste trabalho e os próximos desafios.

2 SISTEMA DE SINALIZAÇÃO

Este capítulo apresenta uma síntese da evolução dos Sistemas de Sinalização metro-ferroviário, desde os sistemas que utilizam apenas sinais e circuitos de via para detecção de trens até os mais modernos que utilizam balisas e rede de comunicação sem fio (equipamentos de rádio), para determinar a localização precisa dos trens ao longo da via.

2.1 Histórico

Com a expansão do tráfego ferroviário no início do século XIX muitos acidentes envolvendo trens começaram a acontecer e, num dos acidentes mais memoráveis daquela época, um trem que trafegava em direção à estação terminal de Paris não conseguiu parar e despencou da plataforma terminal para a rua. Por mais incrível que possa parecer, causou apenas danos materiais à estação e ao trem (figura 2.1).

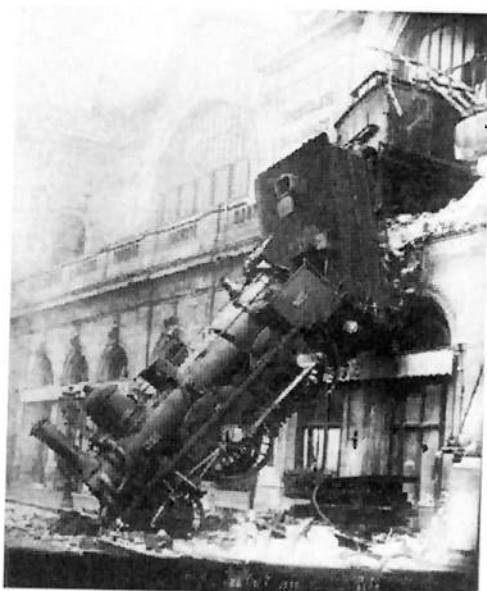


Figura 2.1 – Acidente em Paris em 1895

Em função de acidentes como o mencionado, que ocorriam ou por inexperiência dos condutores ou por falhas no sistema de freio dos trens, surgiram os primeiros Sistemas de Sinalização.

2.2 Sistema de Sinalização “Bloco Fixo”

Esse sistema começou a surgir após metade do século XIX e sua filosofia básica consistia em dividir a via em segmentos (blocos), denominados de circuitos de via, onde o objetivo principal era garantir um distanciamento seguro entre trens na via. Esse distanciamento era obtido através da utilização de sinais laterais ao longo da via com determinados aspectos de cores, que auxiliavam os condutores a controlar a velocidade dos trens, ou seja, os sinais de via passaram a informar ao condutor a velocidade máxima a ser seguida no próximo bloco de via a ser percorrido pelo trem. De forma bastante simplificada pode-se dizer que se existir um trem “ocupando” um determinado bloco, o sinal de acesso a esse bloco apresentará sempre o aspecto vermelho (proibida a entrada no bloco). Por outro lado, quando o bloco estiver “desocupado” o sinal de acesso apresenta o aspecto verde ou amarelo dependendo da convenção adotada, e assim, é permitida a entrada de um trem no bloco.

Na figura 2.2 pode ser visto um exemplo da subdivisão da via em segmentos (circuitos de via), onde estando o bloco ocupado automaticamente é proibido o tráfego de um segundo trem para aquele bloco.

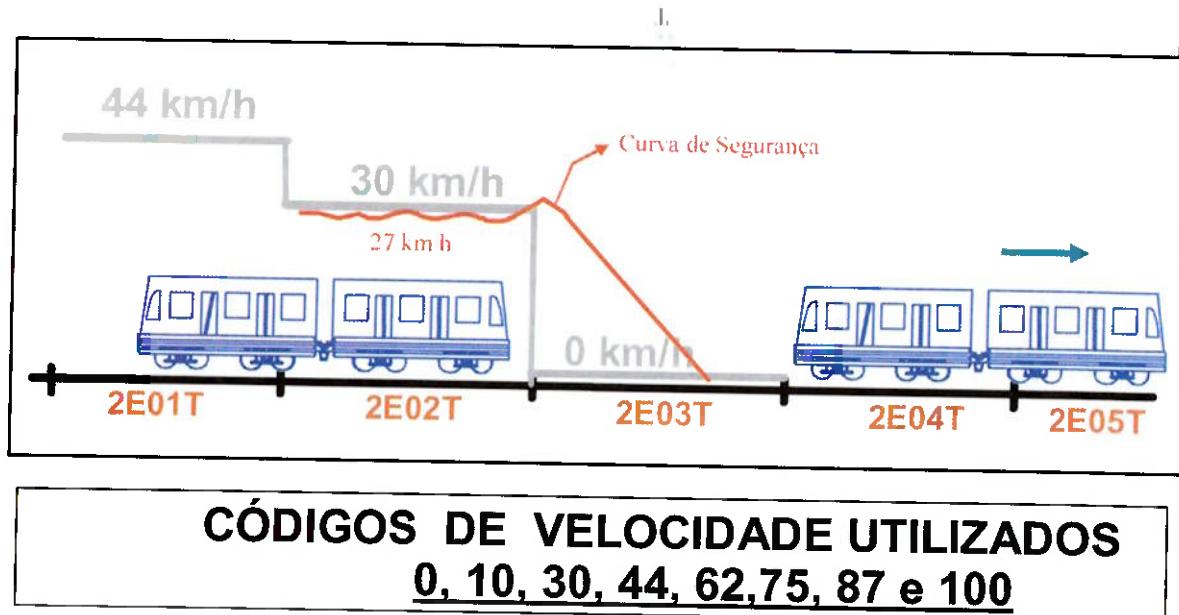


Figura 2.2 – Controle de Trens por Blocos

Uma característica advinda dessa implementação está relacionada à associação do aspecto do sinal a um valor de velocidade autorizado, ou seja, o aspecto verde possibilita o tráfego de trens com a máxima velocidade autorizada na via, o aspecto vermelho indica que o trem deve parar diante do sinal.

Com o passar do tempo novos aspectos foram sendo incluídos no sistema visando facilitar o controle de velocidade pelo condutor do trem. Como essa funcionalidade está associada à proteção da movimentação dos trens, passou a ser denominada de “ATP – Proteção Automática do Trem”.

Essa implementação apesar de trazer uma maior segurança no tráfego de trens ainda atribuí ao condutor do trem a responsabilidade pela movimentação segura, ou seja, se o condutor não respeitar os aspectos dos sinais a segurança do sistema continua vulnerável.

Para eliminar essa vulnerabilidade surgiram uma nova geração de sistemas ATP que passaram a utilizar sinais codificados nos circuitos de via (em corrente alternada ou áudio freqüência), que são interpretados por equipamentos instalados a bordo dos trens que, dependendo da codificação de sinal existente no circuito de via, impõe uma limitação de velocidade ao trem. Usualmente nas ferrovias o sinal do circuito de via é codificado utilizando os padrões de 50, 90, 120, 180 e 240 ppm (pulsos por minuto), que são associados a determinado limite de velocidade a ser obedecido pelo trem. Nos metrôs é usual a utilização de sinais codificados em áudio-freqüência que permitem maiores níveis de velocidade.

A partir do início da década de 1970 passaram a surgir, principalmente nos metrôs, uma nova funcionalidade no Sistema de Sinalização denominada de ATO – Operação Automática do Trem, que possibilita a movimentação automática do trem na via através do controle dos parâmetros de velocidade, aceleração e jerk. Alguns desses sistemas permitem, inclusive, o controle de abertura e fechamento automático de portas do trem, do tempo de parada na estação, do nível de desempenho, da parada automática na estação, etc.

Os sistemas mais modernos, que utilizam nos trens o ATC – Controle Automático do Trem, evoluíram ainda mais com a introdução do “distance-to-go”, pois nessa tecnologia são passados para o trem informações de posicionamento, velocidade e restrições de via através de “transponders” ou balisas (elementos passivos), que permitem ao trem trafegar com velocidade mais próxima dos limites impostos pela via e, também, mais próximos uns dos outros (menor “headway”), porém, ainda sob proteção de circuitos de via.

2.3 Sistema de Sinalização “Bloco Móvel”

Após o surgimento do “distance-to-go” na Europa, começaram a ser desenvolvidos novos sistemas que vêm revolucionando os Sistemas de Sinalização, pois estão possibilitando realizar a movimentação segura e automática dos trens sem a necessidade de circuitos de via. Essa nova tecnologia, que era denominada inicialmente como “Moving Block System”, nos primeiros sistemas, atualmente é denominada de “CBTC - Communication Based Train Control”.

O ponto chave dessa tecnologia é permitir um controle mais efetivo do movimento do trem, através da comunicação contínua e bi-direcional entre trem e via e, dessa forma, permitir que os trens trafeguem nos limites de velocidade impostos pela via e com intervalos entre trens “headway” muito baixo (inferior a 90 s).

Os primeiros sistemas CBTC utilizavam para comunicação trem – via loops indutivos na via, porém, os sistemas mais recentes vêm utilizando rádios de espalhamento espectral “spread-spectrum”, o que permite reduzir significativamente a quantidade de equipamentos na via e consequentemente o custo de operação.

Na figura 2.3 é apresentada uma configuração típica de um sistema CBTC, onde pode ser visto a aproximação entre trens e alguns dos equipamentos existentes na arquitetura CBTC.

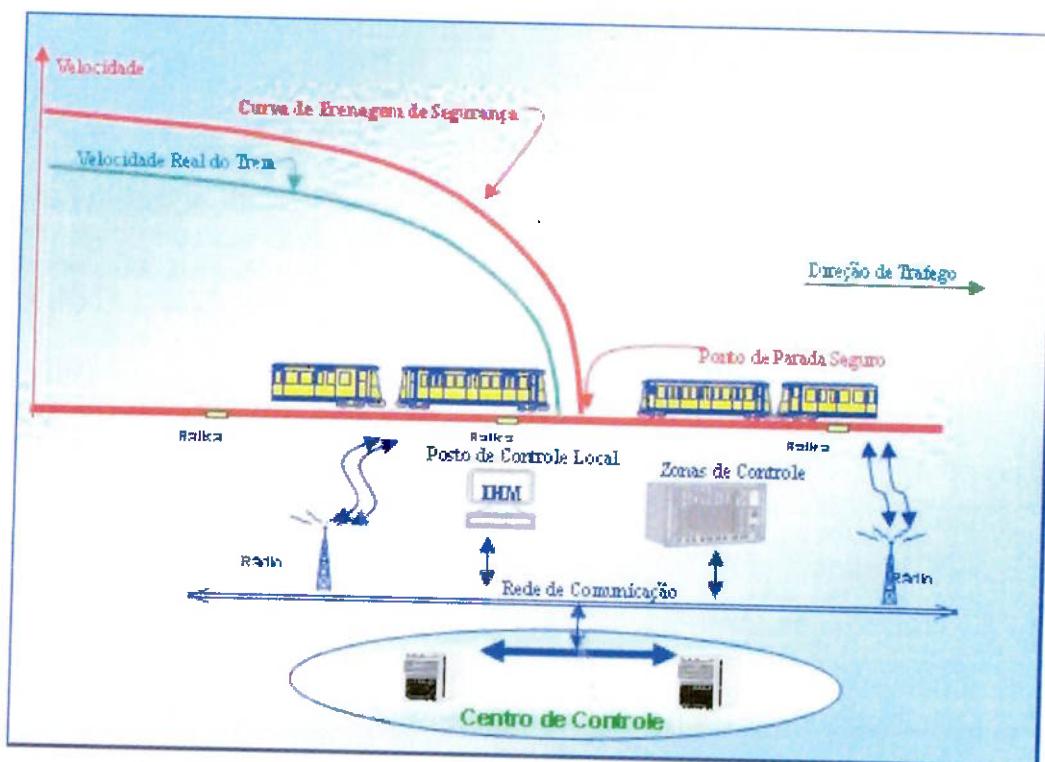


Figura 2.3 – Aplicação típica de um sistema do tipo CBTC

Conforme demonstrado na figura 2.3, um sistema de sinalização com tecnologia CBTC utiliza basicamente os seguintes equipamentos:

- a) Rádio spread-spectrum (fixos e móveis) para comunicação contínua e bi-direcional trem - via;
- b) Balisas para localização ou aferição do posicionamento dos trens;
- c) Equipamentos eletrônicos nas Zonas de Controle;
- d) Antenas a bordo dos trens para a comunicação contínua e bi-direcional trem - via;

Com o desenvolvimento de vários projetos de CBTC, a IEEE decidiu criar um grupo de estudos para padronizar essa nova tecnologia.

Como resultados desses estudos surgiram as normas IEEE-1474.1, 1474.2. e 1474.3 que estão sendo desenvolvidas especialmente nas aplicações que se utilizam o CBTC. [3].

3 METODOLOGIA ADOTADA

Para atender ao objetivo deste trabalho, foi inicialmente realizada uma pesquisa entre empresas do mercado, com experiência neste ramo da Sinalização Metro-ferroviária, de modo a se coletar informações técnicas a respeito de seus produtos.

Para orientação deste processo de pesquisa, adotou-se o Modelo Funcional da IEEE 1474[3], onde de forma didática, são apresentados, na forma diagrama, os principais elementos que compõem uma Arquitetura CBTC e os principais sinais trocados entre eles, conforme apresentado na figura 3.1.

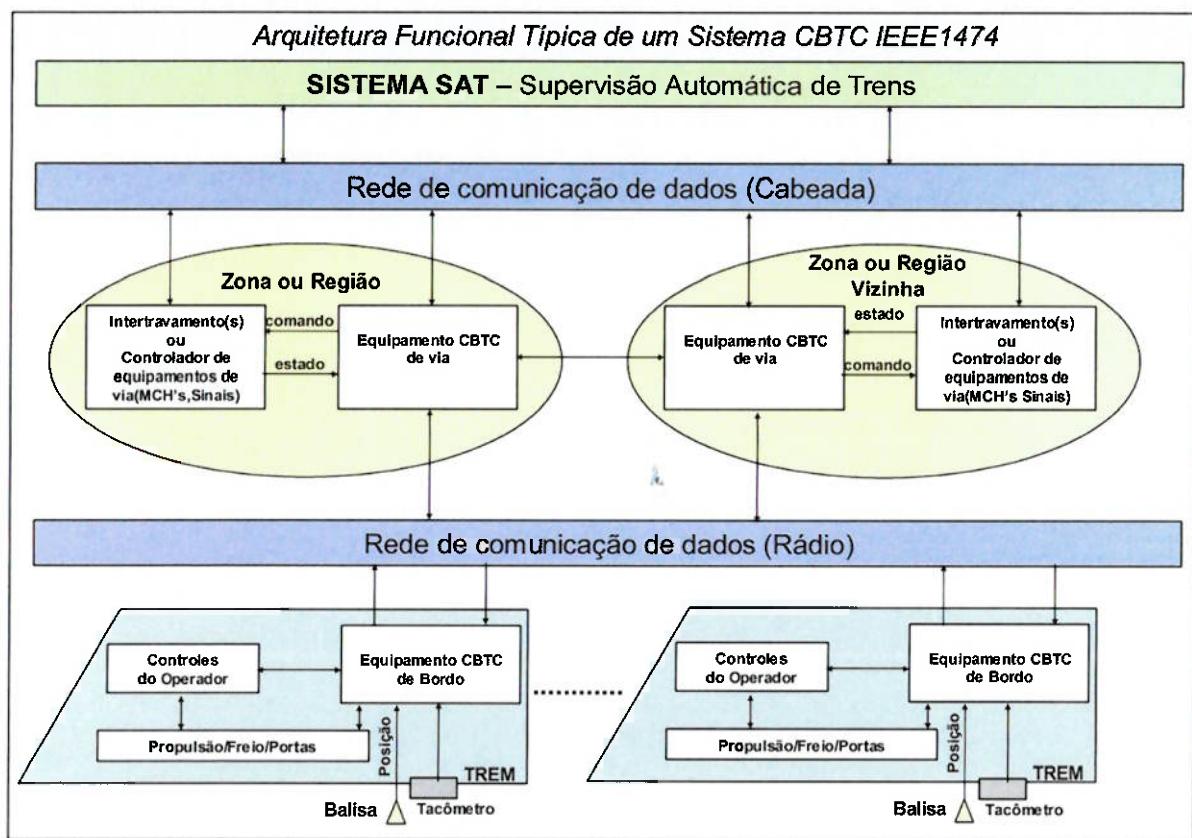


Figura 3.1 – Arquitetura Funcional Típica de um Sistema CBTC IEEE1474 [3]

Assim, para cada possível fornecedor de Sistema CBTC, foi montado seu respectivo diagrama de bloco, onde são destacados os seguintes elementos:

- Soluções de Redes de Comunicação;
- Divisão lógica e física das áreas de controle dos trens;
- Equipamentos utilizados;
- Principais Sinais trocados;

e) Principais ações realizadas.

Com a representação das arquiteturas encontradas, segundo o modelo da IEEE 1474, passou-se para a análise de cada uma, identificando os pontos comuns e divergentes entre elas, gerando assim o que se denominou de ARQUITETURAS TÍPICAS.

A geração das Arquiteturas Típicas foi fundamental para o desenvolvimento do trabalho, pois deixaram de forma explícita, os aspectos mais importantes a serem analisados pelo grupo.

Considerando as Arquiteturas Típicas CBTC, primeiramente fez-se um levantamento dos principais perigos relacionados à Segurança de Pessoas e de Patrimônio. Tendo em mente os perigos identificados, foi aplicada a técnica HAZOP – “Hazard and Operability Analysis”[20] sobre os sinais vitais trocados entre os equipamentos constituintes destas arquiteturas, sinais estes relacionados a Segurança do Sistema. Por intermédio da técnica HAZOP, aplicada neste contexto, procurou-se examinar as possíveis falhas relativas a estes sinais vitais trocados entre os equipamentos, identificando as recomendações de verificação necessárias para a avaliação da Segurança do Sistema. De forma complementar, utilizou-se também a técnica de Árvore de Falhas [2] com objetivo de se obter recomendações de verificação, para cada equipamento, não possíveis de identificação pela técnica HAZOP, que está focada em falhas na troca de sinais entre os equipamentos e não nas falhas internas de cada equipamento.

A figura 3.2 ilustra o campo de atuação de cada uma das técnicas utilizadas.

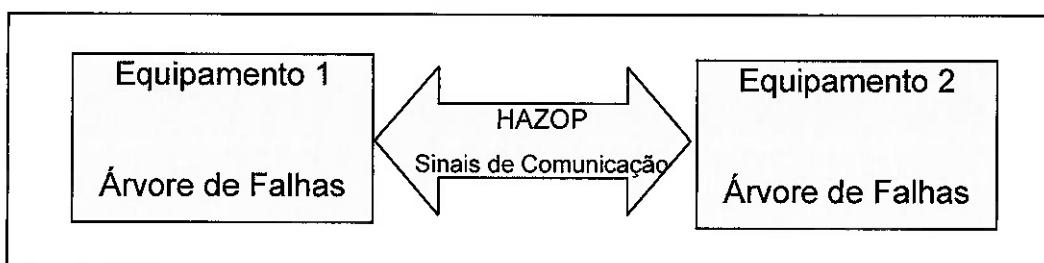


Figura 3.2 – Campo de Atuação das Técnicas de análise Utilizadas

A técnica Árvore de Falhas foi aplicada nos equipamentos CBTC de via e CBTC de Bordo.

Para aplicação da técnica Árvore de Falhas nestes equipamentos, primeiramente foi feito um levantamento das principais funções de cada equipamento.

Após a aplicação das duas técnicas (HAZOP e Árvore de Falhas), foram obtidas as recomendações de verificação.

De forma complementar, foram obtidas outras recomendações que surgiram da análise das arquiteturas, de reuniões técnicas e consultas a fornecedores, que foram chamadas de Recomendações Complementares.

4 ARQUITETURAS TÍPICAS DE UM SISTEMA DE SINALIZAÇÃO DE BLOCO MÓVEL

Este Capítulo apresenta inicialmente, o resultado da pesquisa e análise realizada entre empresas do mercado, contendo de forma resumida os principais aspectos técnicos de cada arquitetura.

Com base neste levantamento, geraram-se duas arquiteturas, chamadas de Arquiteturas Típicas I e II, nas quais estão representados os aspectos mais importantes a serem considerados para aplicação dos métodos para obtenção das recomendações.

4.1 Pesquisa e Levantamento das Arquiteturas de Fornecedores de Sistema CBTC.

Em momento algum foi identificado o nome do fornecedor, nem foram realizadas comparações das soluções adotadas, por não ser de interesse, deste trabalho, este tipo de avaliação.

Os resumos descritos, a seguir, identificam para cada Arquitetura, os aspectos mais relevantes do Sistema CBTC de cada fornecedor [6-10, 15-19].

4.1.1 Arquitetura (Tipo A)

A figura 4.1 apresenta a Arquitetura Funcional de um Sistema CBTC Tipo A.

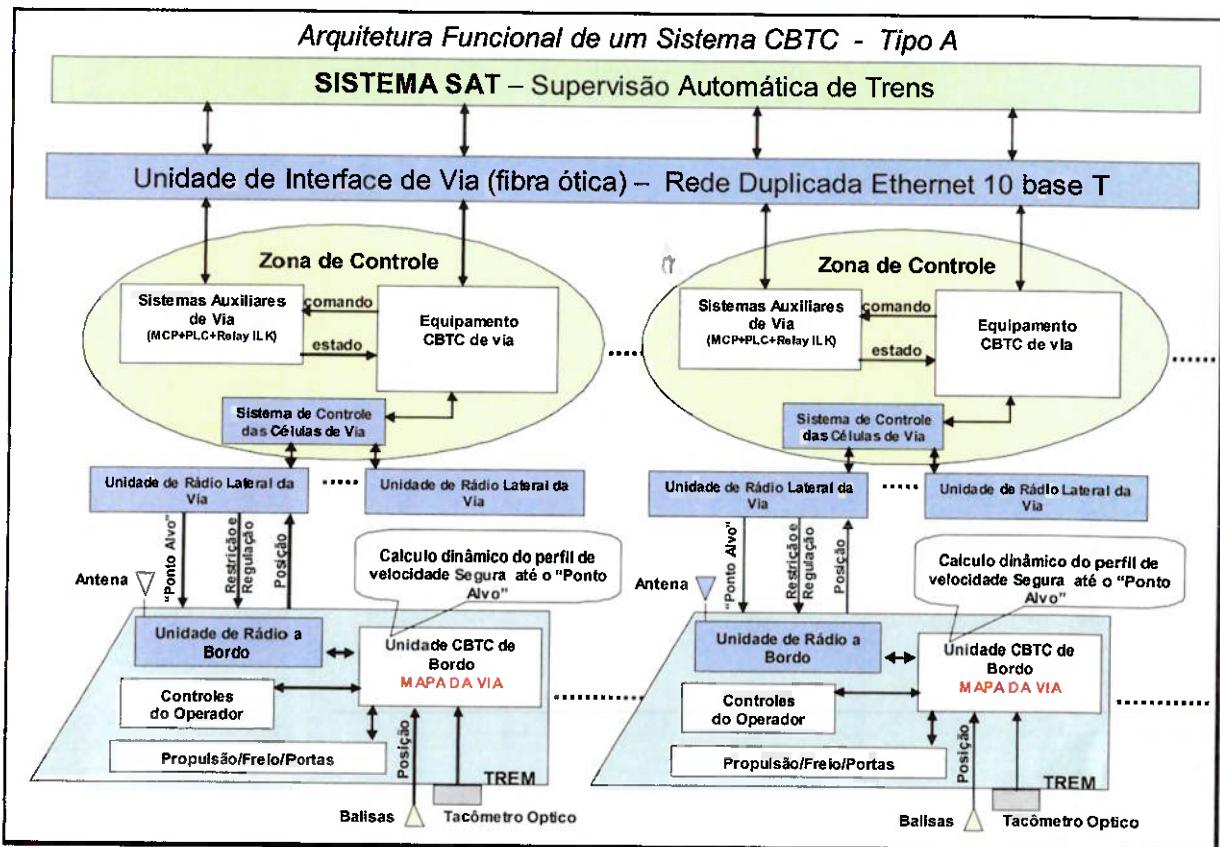


Figura 4.1 – Arquitetura Funcional de um Sistema CBTC Tipo A

Este é um Sistema de bloco móvel baseado na tecnologia CBTC, com equipamentos dispostos ao longo da Via (CBTC de Via), bem como dentro do Trem (CBTC de Bordo).

A comunicação entre estes equipamentos é feita através da instalação de rádios ao longo da via, com os rádios instalados dentro do Trem. Esta comunicação é feita na faixa de freqüência IMS “Industrial, Scientific and Medical” utilizando a tecnologia “SPREAD SPECTRUM” em 2,4 Ghz.

O formato da célula de rádio é determinado de acordo com os desempenhos do ciclo de rádio (número de trens que podem ser consultados dentro de um ciclo).

Nesta arquitetura, a disposição das células de rádio é otimizada para 8 trens por célula operando com o intervalo entre trens definido no projeto. Nessa configuração, todos os trens são consultados a cada 0,5 segundo.

Desta forma, os equipamentos CBTC de Via definem regiões distribuídas, chamadas de ZONA de CONTROLE – ZC, que compreendem o domínio de controle do CBTC de VIA.

A troca de mensagens entre as Zonas de Controle, bem como entre o SAT – Supervisão Automática de Trens, no Centro de Controle, é realizada pela “Unidade de Interface de Via”, através de uma rede Ethernet 10 BaseT.

Dentro desta Zona de Controle, bem como entre as várias Zonas de Controle, a comunicação Terra – Trem é possível graças ao “Sistema de Controle das Células de Via”.

Cada célula é implementada pela Unidade de Rádio Lateral da Via, que se comunica efetivamente com o trem.

Um Sistema de Controle das Células de Via controla de 1 até 4 células de rádio (Unidade de Rádio Lateral da Via). Este Sistema é redundante: composto por duas Unidades de Transmissão para cada Sistema de Controle de Células de Via.

As Unidades de Rádio Lateral da Via, distribuídas ao longo da linha, estão conectadas através de uma rede de fibra óptica com o Sistema de Controle das Células de Via, para a troca de mensagens com os trens.

Cada Unidade de Rádio Lateral da Via é um dispositivo redundante, isto é, composto por dois rádios cada (Rádio-A e Rádio-B), o que garante a disponibilidade de uma célula.

Estas Unidades são dispostas ao longo da linha para assegurar cobertura completa de rádio, conforme previsto em projeto, cabendo a cada uma delas o gerenciamento do enlace de rádio e do protocolo de comunicação. Desta forma, transmitem:

- a) “Frames” recebidos do Sistema de Controle das Células de Via, para os trens.
- b) “Frames” recebidos dos trens, para o Sistema de Controle das Células de Via.

As principais tarefas do Sistema de Controle das Células de Via são:

- a) Gerenciamento do enlace de rádio:
 - Definição das freqüências de rádio das células e a seqüência de difusão;
 - Alocação dos recursos do rádio para diferentes serviços: CBTC ou não CBTC;
- b) Controle da lista de trens que podem ser tratados dentro de uma célula, utilizando-se de protocolo específico;
- c) Execução do roteamento de mensagens:

- Coleta de mensagens da ZC e da SAT, e construção o frame de dados, que será enviado às diferentes células de rádio;
- Encaminhamento das mensagens dos trens aos equipamentos relevantes (ZC e SAT).

Nos trens, a radiocomunicação, é implementada através de dois equipamentos de rádio, chamados de "Unidades de Rádio a Bordo", localizadas em cada extremidade do trem.

O posicionamento do rádio é definido de forma que cada extremidade do trem possa se comunicar com pelo menos uma Unidade de Rádio Lateral da Via.

Desta forma, um trem está conectado aos rádios da lateral da via através de dois percursos diferentes. Esta redundância possibilitará que o Sistema CBTC de Bordo não seja perturbado em caso de falha de uma das unidades de rádio do trem.

Nesta Arquitetura Tipo A, conforme descrito a seguir, os equipamentos CBTC de Via e Bordo realizam funções distintas, de acordo com os sinais trocados entre eles:

- a) O Trem envia constantemente para o CBTC de Via sua posição, calculada pelo Tacômetro e corrigida pelas balisas, localizadas ao longo da Via;
- b) O Trem recebe do equipamento CBTC de Via o seu "Ponto Alvo", Restrições da Via e Regulações (Controle do desempenho dos trens ao longo da Linha).
- c) O equipamento CBTC de bordo, de posse destas informações e utilizando-se do Mapa da Via, calcula sua velocidade segura.

4.1.2 Arquitetura (Tipo B)

A figura 4.2 apresenta a Arquitetura Funcional de um Sistema CBTC – Tipo B

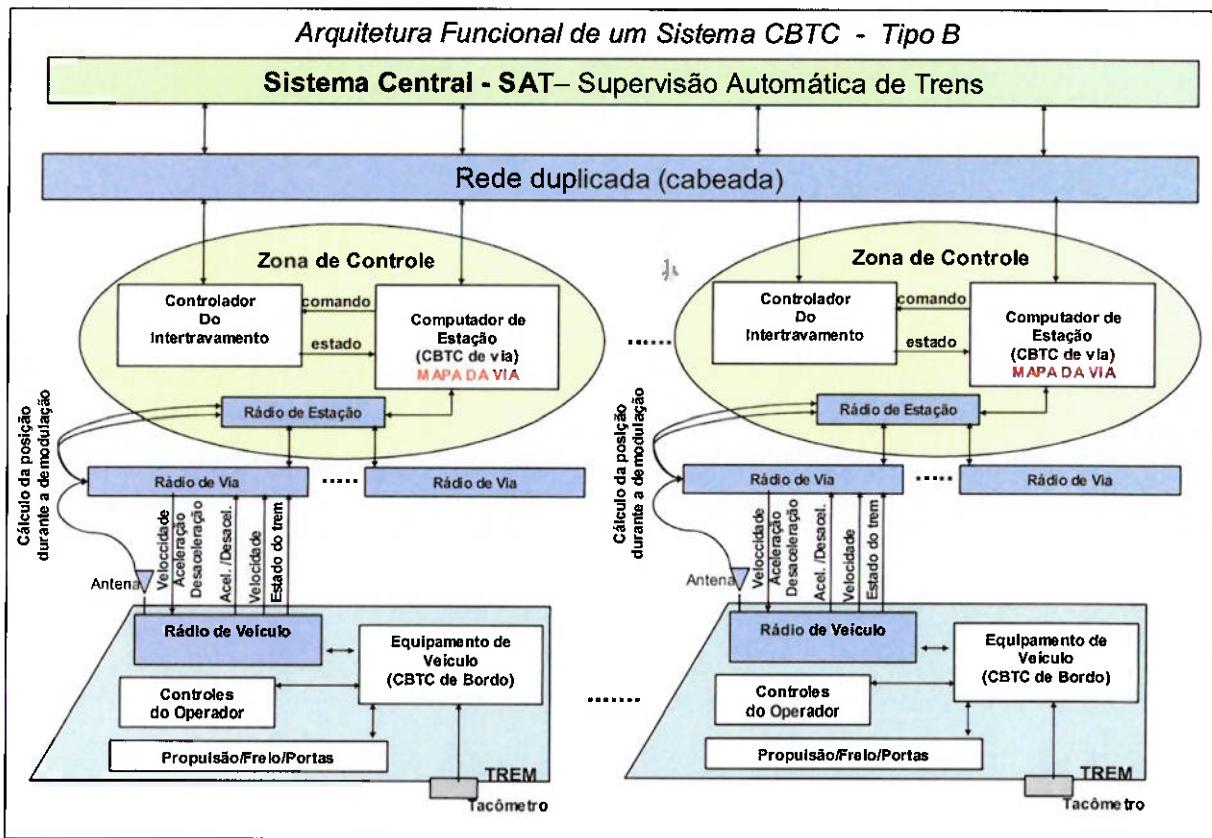


Figura 4.2 – Arquitetura Funcional de um Sistema CBTC Tipo B

Este é um Sistema de Bloco Móvel baseado na tecnologia CBTC, implementada através de uma rede sincronizada de comunicação via rádio, a qual pode rastrear os trens, determinando sua localização, velocidade e direção.

A localização e o Controle de Trens são baseados na comunicação via rádio digital com tecnologia de espalhamento espectral “Spread Spectrum”. Os rádios são instalados ao longo da via, em intervalos de 405 m a 1620 m.

Periodicamente cada trem se comunica com o Computador de Estação (CBTC de Via). Cada Computador de Estação controla um trecho de via, denominado Zona de Controle.

A localização dos trens é realizada através dos rádios ao longo da via, que são instalados de forma a permitir, que cada trem se comunique, com pelo menos quatro Rádios de Via, dispostos a sua frente e atrás do mesmo, durante sua viagem.

As informações recebidas pelos Rádios de Via são retransmitidas para o Rádio da Estação, que por sua vez as retransmite ao Computador da Estação.

A posição do trem é determinada baseada no tempo de propagação de Radiofreqüência (RF) entre os Rádios de Via e do trem.

Existem vários caminhos de retorno da comunicação do trem para o computador de Estação (pelo menos 4), providos através dos Rádios de Via. Esta redundância de informação ocorre para garantia da segurança na determinação da posição do trem. Dentro de cada Zona de Controle, o Computador de Estação fica constantemente rastreando o trem e enviando-lhe os comandos de velocidade, aceleração e desaceleração.

Este sistema estabelece uma comunicação entre os Computadores de Estação, para permitir a continuidade operacional do sistema, além de criar zonas intermediárias entre as Zonas de Controle, para realizar a passagem do controle de um trem de uma Zona de Controle para a outra.

Na Zona intermediária, que é caracterizada pela intersecção de duas Zonas de Controle, os Trens se comunicam com os Computadores de Estação de cada Zona de Controle simultaneamente.

Trata-se de uma arquitetura onde o controle dos trens é totalmente realizado pelos Computadores de Via.

As funções dos Computadores de Via são:

- a) Propiciar a lógica de controle da rede RF dos sistemas de Via;
- b) Estabelecer o desempenho dos trens e seu rastreamento;
- c) Calcular os comandos de velocidades, aceleração e desaceleração;
- d) Gerenciamento da troca de controle do trem nas Zonas Intermediárias "handoff".

O Sistema de Rádio propicia a troca de dados entre os Rádios de Via e o Equipamento do Trem (CBTC de Bordo) de forma sincronizada.

O Equipamento de Veículo (CBTC de Bordo) recebe todos os comandos de controle de velocidade do Computador de Estação e controla os equipamentos de propulsão, freio e portas do trem.

Sobre esta arquitetura, os equipamentos de via e de bordo, realizam funções distintas conforme os sinais que são trocados entre eles:

- a) O Trem constantemente envia para o CBTC de Via suas condições de estado (falhas, estado de portas, e etc), velocidade, aceleração ou desaceleração;

- b) O Computador de Estação rastreia o trem, calcula sua exata posição, através de uma complexa rede de rádio, e com base no Mapa da Via envia, ao trem, comandos de velocidade, aceleração e desaceleração;
- c) O equipamento CBTC de Bordo, de posse destas informações executa os comandos impostos pelo CBTC de Via.

4.1.3 Arquitetura (Tipo C)

A figura 4.3 apresenta a Arquitetura Funcional de um Sistema CBTC – Tipo C.

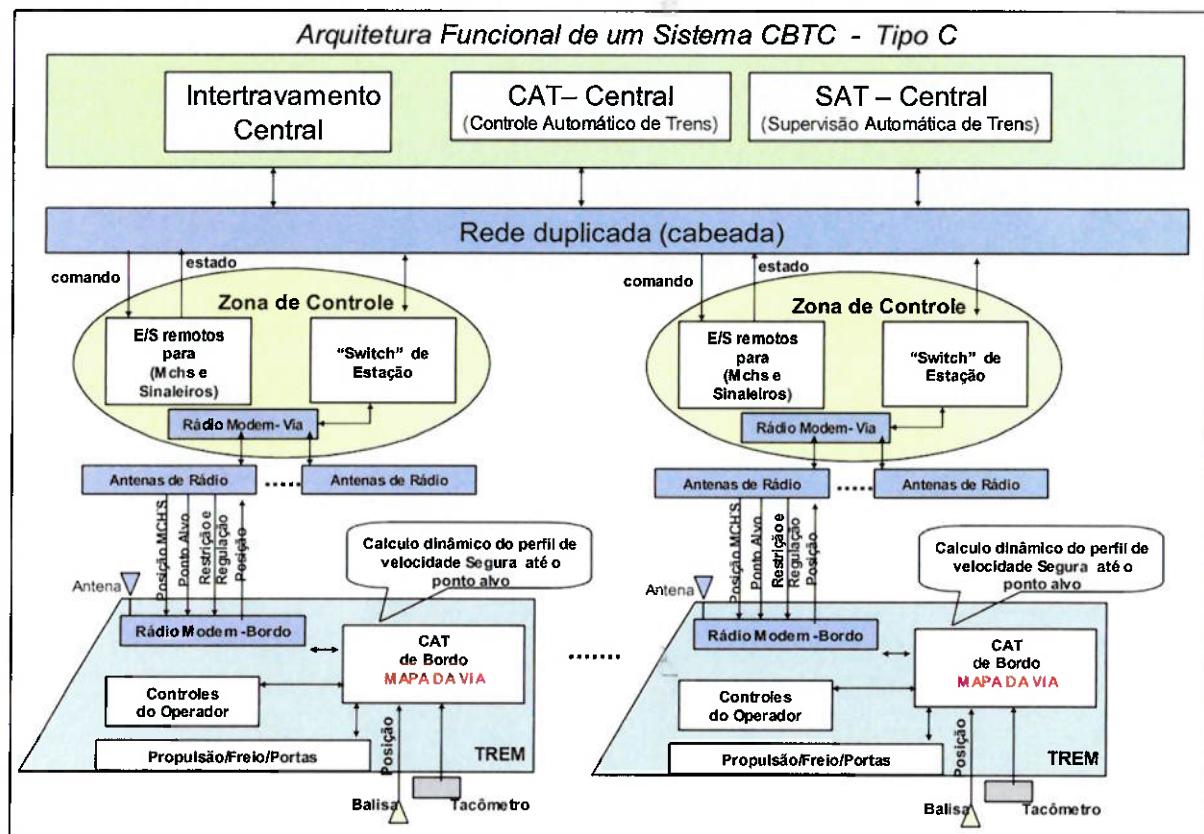


Figura 4.3 – Arquitetura Funcional de um Sistema CBTC Tipo C

Este é um Sistema de bloco móvel baseado na tecnologia CBTC, com equipamentos de rádio modem dispostos ao longo da via, bem como dentro do trem.

Esta arquitetura está baseada na construção de duas redes de comunicação sobrepostas, como segue:

- a) Rede padrão Ethernet (802.3) duplicada, onde estão conectados os seguintes Sistemas, todos localizados no Centro de Controle Operacional:

- INTERTRAVAMENTO CENTRAL;
- CAT – Controle Automático de Treins – CENTRAL (CBTC);
- SAT- Supervisão Automática de Treins - CENTRAL.

- b) Rede Sem fio padrão (802.11a ou 802.11g), 2,4GHz ou 5,8GHz, com tecnologia Spread Spectrum, para comunicação Terra / Trem.

Neste sistema, o controle dos trens é todo centralizado, ou seja, o CBTC de via (CAT CENTRAL) e o intertravamento (INTERTRAVAMENTO CENTRAL) ficam instalados no Centro de Controle.

Nas Zonas de Controle, dispostas ao longo da via, ficam instalados somente os Rádios, Interface de E/S (E/S remotos para máquinas de chave e sinaleiros) e "Switchs" de estação.

Os rádios farão a comunicação com os rádios dos trens, sendo que para cada um deles será especificado um endereço IP (Internet Protocol).

A comunicação entre o Centro de Controle (CAT CENTRAL) e os Trens (CAT a bordo) é feito pelos "Switchs" que interligam as duas redes distintas.

O CAT CENTRAL e o INTERTRAVAMENTO CENTRAL possuem arquitetura redundante, tipo TMR – Redundância Modular Tripla, com votação 2 de 3.

Um CAT CENTRAL pode controlar até 50 trens dentro de seu respectivo trecho, e caso haja necessidade de controlar um número maior de trens, é necessária a instalação de mais um CAT CENTRAL, sendo que cada um irá controlar um determinado trecho da via.

Sobre esta arquitetura, os equipamentos de via e bordo, realizam funções distintas conforme os sinais que são trocados entre eles:

- a) O trem constantemente envia para o CAT CENTRAL sua posição, calculada pelo tacômetro e corrigida pelas balisas localizadas ao longo da Via;
- b) O trem recebe do equipamento CAT CENTRAL o seu Ponto Alvo, as Restrições e os comandos de controle de Regulação da linha.
- c) O trem recebe do INTERTRAVAMENTO CENTRAL a posição das máquinas de chaves.

O equipamento CBTC de bordo, de posse destas informações e utilizando-se do Mapa da Via a bordo, calcula sua velocidade segura.

4.1.4 Arquitetura (Tipo D)

A figura 4.4 apresenta a Arquitetura Funcional de um Sistema CBTC – Tipo D.

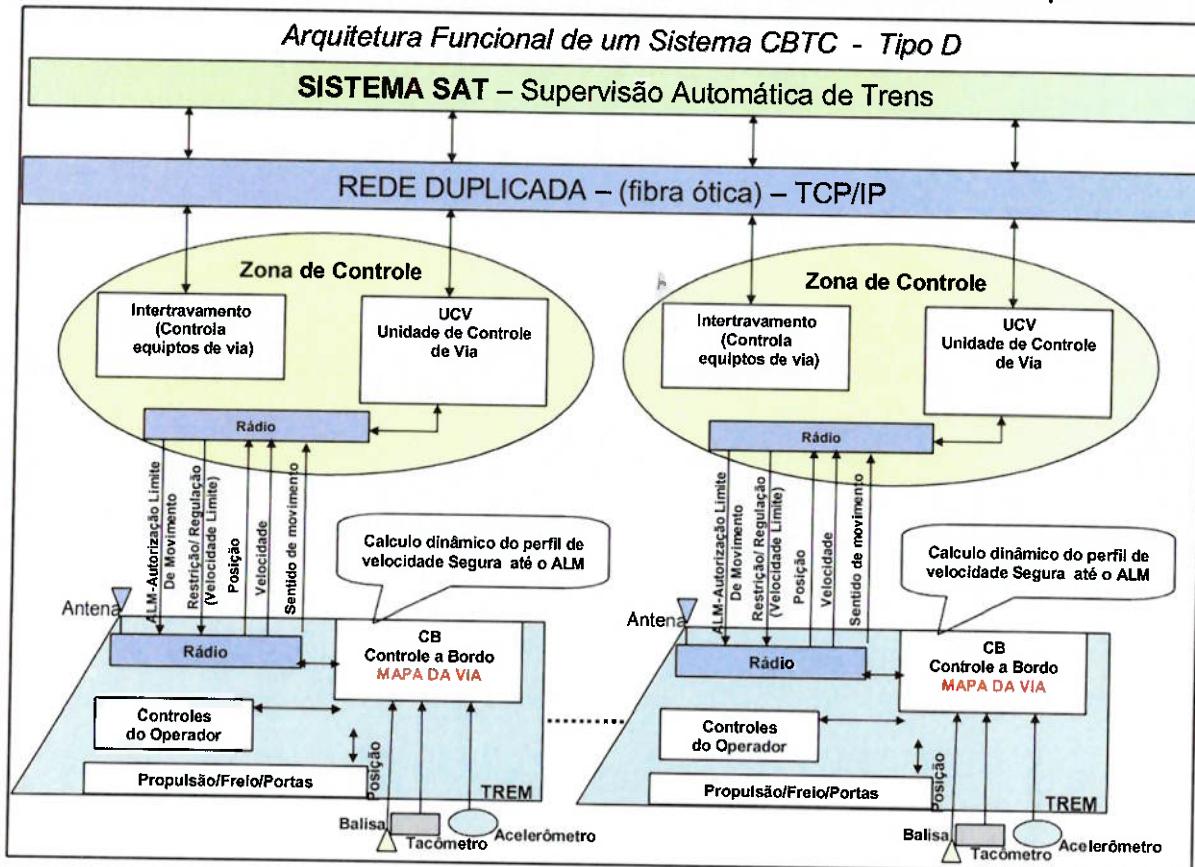


Figura 4.4 – Arquitetura Funcional do Sistema CBTC Tipo D

Este é um Sistema CBTC implementado através da comunicação Terra / Trem baseado na tecnologia “Spread Spectrum” 2,4Ghz.

Pode apresentar duas configurações possíveis, uma distribuída e outra centralizada, sendo que a arquitetura centralizada é utilizada em linhas muito extensas (acima de 80 Km), permitindo com isto uma menor quantidade de equipamentos instalados ao longo da via.

Os equipamentos de via são suportados por uma rede de fibra óptica duplicada padrão “ethernet”, conectando-os com os equipamentos do Centro de Controle - SAT.

Esta arquitetura utiliza-se de duas redes de comunicação uma cabeada no padrão IEEE 802.3 e outra sem fio, no padrão 802.11.

A primeira estabelece a comunicação entre o Centro de Controle (Supervisão Automática de Trein - SAT) e os equipamentos de via (Unidade de Controle de Via -

UCV e Intertravamento) e a segunda a comunicação entre estes e os equipamentos de bordo (Controlador de Bordo - CB).

Os trens são controlados pelos equipamentos de via “UCV”, os quais delimitam uma região de controle sob sua responsabilidade, igualmente chamadas de Zonas de Controle.

Sobre esta arquitetura, os equipamentos de Via e Bordo, realizam as seguintes funções:

- a) Funções de ATP “Automatic Train Protection”, que garantem a operação segura do trem e a implementação correta da velocidade;
- b) Funções de ATO “Automatic Train Operation”, como abertura de portas, parada automática nas estações, controle de velocidade e performance.
- c) O CB calcula o posicionamento do trem a partir do sinal de velocidade recebido do tacômetro e corrige a posição, através da leitura das balisas, localizadas ao longo da via;
- d) O CB do trem constantemente envia para a UCV de Via sua posição, velocidade e sentido de movimento;
- e) O CB do trem recebe do UCV a Autorização Limite de Movimento (ALM) e Restrições/Regulações (Velocidade Limite);
- f) O CB, de posse destas informações e utilizando-se do Mapa da Via, calcula sua velocidade segura até o ALM.

Esta arquitetura apresenta também algumas soluções complementares para o Sistema de Gerenciamento de Trens e para o Sistema de Intertravamento, como descritos á seguir:

- a) Rede Avançada

Trata-se de uma rede avançada, utilizada pelo Centro de Controle de Sistemas convencionais ou CBTC.

É um Sistema Modular que pode ser configurado para suportar somente o controle de tráfego dos trens ou aplicações integradas de um Centro de Controle.

A Rede Avançada pode supervisionar automaticamente ou manualmente a operação de uma rede de ferrovia.

A sinalização pode também controlar, de forma integrada, outros sistemas, incluindo tração de potencia, ventilação, informações aos passageiros, gerenciamento da manutenção e da segurança.

Funciona em plataforma “Windows” com arquitetura distribuída e rede TCP/IP.

b) Intertravamento

A família de intertravamentos para ferrovias urbanas é constituída de sistemas de estado sólido, compactos e projetados para controles locais ou centralizado.

Baseado em arquitetura aberta e escalar possuem um conjunto de ferramentas amigáveis ao usuário.

O intertravamento possui configurações redundantes, visando a garantia da segurança, confiabilidade e compatibilidade com equipamentos existentes.

4.1.5 Arquitetura (Tipo E)

A figura 4.5 apresenta a Arquitetura Funcional de um Sistema CBTC – Tipo E.

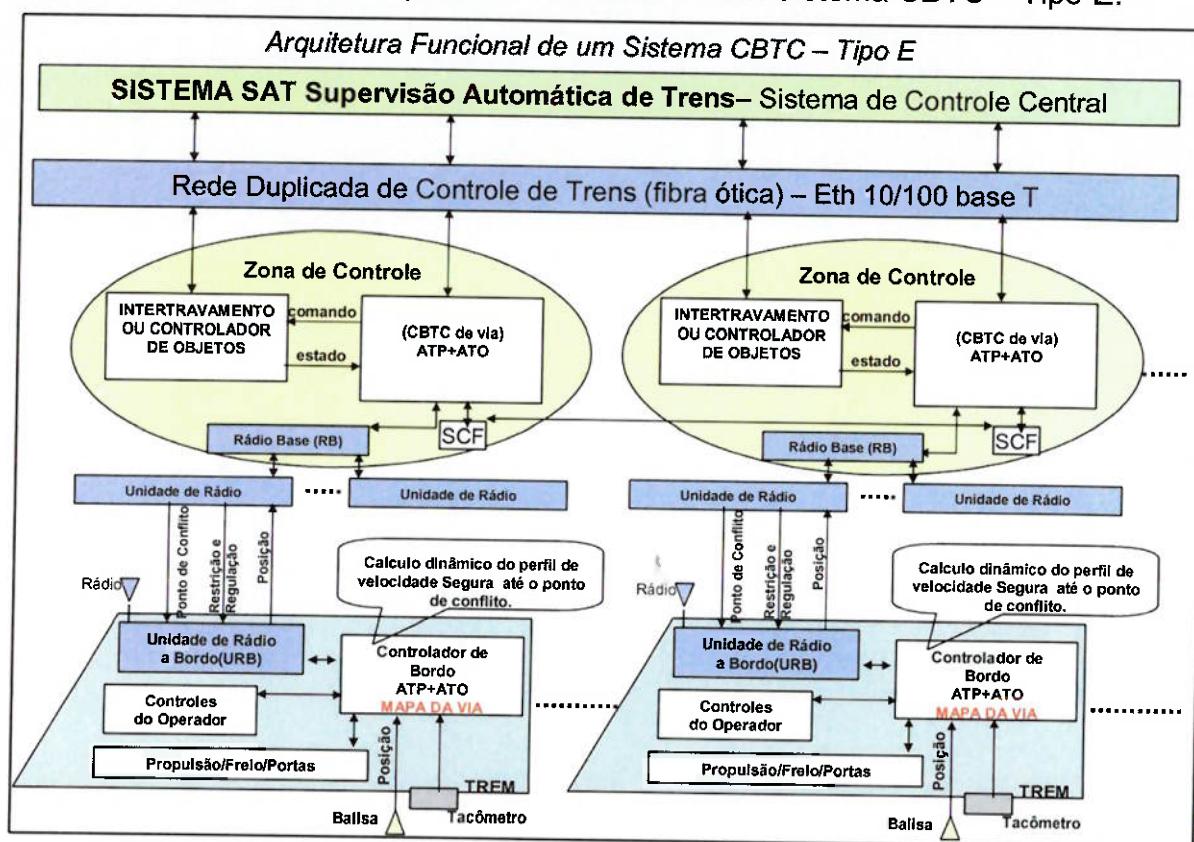


Figura 4.5 – Arquitetura Funcional de um Sistema CBTC Tipo E

Esta arquitetura apresenta a tecnologia CBTC, que incorpora os requisitos característicos de um sistema baseado em comunicação em um ambiente de tráfego como:

- Controle automático de trem verificado quanto à segurança;
- Comunicações de rádio em ambiente hostis;
- Configuração redundante;
- Interfaces com o padrão industrial;

e) Arquitetura de sistema distribuído.

A comunicação entre os equipamentos do Centro de Controle (SAT) e os equipamentos CBTC de Via é realizada através de uma rede Ethernet 10/100 Base T, e a comunicação com o equipamento Controlador de Bordo (CB) é realizada através de rádio 2,4GHz Spread Spectrum.

O Equipamento CBTC além das funcionalidades de ATP "Automatic Train Protection" e ATO "Automatic Train Operation", possui o Sistema para o Controle de Fronteira - SCF, que garante de forma Segura, a transferência de trens entre Zonas de Controle.

Cada Zona de Controle contém:

- a) Intertravamento;
- b) CBTC de Via;
- c) Equipamentos de rádio necessários para aquela região (Estação Rádio Base e Unidades Móveis de Rádio);
- d) SCF "Sistema de Controle de Fronteira".

O CBTC de Via, que tem conhecimento do posicionamento de cada trem ao longo da via, envia para o Controlador de Bordo, via rádio, sinais de restrições e regulação. Estes sinais são utilizados para atualização quanto às interferências e desempenho do sistema, bem como determinação dos pontos de conflito, que são os locais ao longo da via para os quais um trem equipado com o CBTC deve parar.

O Controlador de Bordo usa o ponto de conflito para calcular sua Autorização de Movimento (AM), isto é, o quanto e a que velocidade o trem pode continuar a trafegar, parando antes dos pontos de conflito, de forma segura.

A posição do trem é obtida através do uso de pontos de referência ao longo da linha e do tacômetro do trem.

O tacômetro tem um pequeno erro em suas medições devido às mudanças de diâmetro da roda, e devido ao deslizamento da roda na via, e este é mantido o menor possível pelo uso de pontos de referência que são as balisas, que enviam uma informação ao trem quando este passa por ela, corrigindo a informação da posição do trem.

Sobre esta a arquitetura, os equipamentos de Via e Bordo, realizam funções distintas conforme os sinais que são trocados entre eles:

- a) O Controlador de Bordo, constantemente envia para o CBTC de Via sua posição;

- b) O Controlador de Bordo recebe do equipamento CBTC de Via o Ponto de Conflito;
- c) O equipamento CBTC de bordo, de posse destas informações supervisiona a parada do trem antes do Ponto de Conflito.

4.2 Elaboração das Arquiteturas Típicas

Após o estudo e análise das 5 arquiteturas de fornecedores CBTC, as características principais e comuns destas arquiteturas, conforme representado nas tabelas 4.1 e 4.2, serviram de base para a geração de duas arquiteturas Típicas de um Sistema de Bloco Móvel, denominadas Arquitetura Típica I e II.

ARQ.	SINAIS ENVIADOS DA VIA PARA O CBTC DE BORDO					
	POSIÇÃO BALISAS	ALM/ PONTO DE CONFLITO/ PONTO ALVO	RESTRIÇÃO	POSIÇÃO DAS MCH'S	REGULAÇÃO	COMANDOS DE VELOCIDADE, ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO
A	X	X	X		X	
B						X
C	X	X	X	X	X	
D	X	X	X		X	
E	X	X	X		X	

Tabela 4.1 – Sinais enviados da via para o CBTC de Bordo

ARQ.	SINAIS ENVIADOS DO TREM PARA O CBTC DE VIA					
	POSIÇÃO	SENTIDO DE MOVIMENTO	VELOCIDADE	ESTADO	ACELERAÇÃO/ DESACELERAÇÃO	
A	X					
B			X	X	X	
C	X					
D	X	X	X			
E	X					

Tabela 4.2 – Sinais enviados do trem para o CBTC de Via

4.2.1 Arquitetura Típica I

A arquitetura Típica I gerada está representada na figura 4.6.

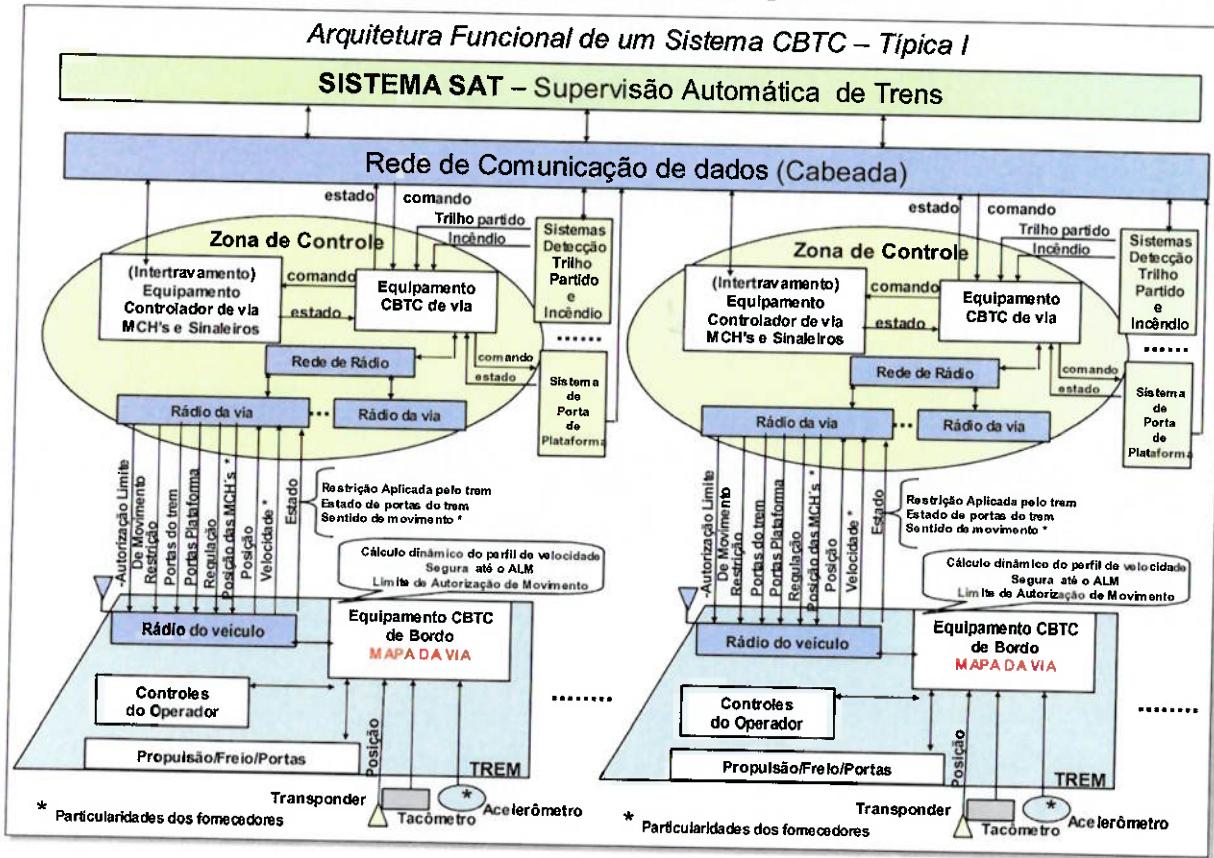


Figura 4.6 – Arquitetura Funcional de um Sistema CBTC Típica I

Esta arquitetura define a utilização de duas redes de comunicação, sendo a primeira delas cabeada, preferencialmente com a utilização de fibra óptica, e no padrão “Ethernet” 802.3, que é utilizado pela maioria dos fornecedores.

Nesta rede, o Centro de Controle (SAT), se comunica com os equipamentos:

- CBTC de Via;
- Equipamentos Controladores de Via como Maquinas de Chave e Sinaleiros;
- Sistema de Detecção de Trilho Partido e Incêndio;
- Sistema de Porta de Plataforma.

Em relação ao Intertravamento e o CBTC de Via, existem duas soluções de implementação, que são:

- Equipamentos independentes com uma comunicação dedicada;
- Uma Solução integrada, onde o Sistema de Intertravamento é parte integrante do Sistema CBTC de Via, sendo sua comunicação realizada internamente ao equipamento.

Optou-se por representar o primeiro caso, por ser ainda a solução mais adotada pela grande maioria dos fornecedores.

A outra rede de comunicação é a rede sem fio, com a utilização de rádios digitais, na frequência 2,4 GHz ou 5,8GHz, padrão 802.11a-g, “Spread Spectrum”. Nesta rede se comunicam os equipamentos de rádio da via com os equipamentos de rádio de bordo.

Basicamente esta é a solução adotada por todos os fornecedores de sistema CBTC, por ser o principal elemento que possibilitou a implementação deste sistema, permitindo a detecção do trem em tempo real.

Existe nesta arquitetura uma divisão definida pelas áreas de controle, chamadas de Zona de Controle, onde são controlados todos os trens que estão sob seu domínio. Faz parte deste controle a comunicação de rádio terra / trem, para assegurar uma transição segura entre as Zonas de Controle, sem que haja perda de comunicação. Outra característica desta arquitetura é a comunicação dos trens com as balisas, que estrategicamente dispostas ao longo da via, determinam a precisão na localização dos trens.

Uma variação encontrada é a utilização de acelerômetros, utilizados para a aferição da velocidade do trem, compensando possíveis erros da medição de velocidade do trem. Esta variação não interfere nos sinais trocados entre os equipamentos CBTC de bordo com o CBTC de Via, podendo ser entendido, como mais um meio de redundância no trem. Existem também fornecedores que não utilizam acelerômetro, porém utilizam tacômetros especiais, tipo “Doppler”, que diferentemente dos tacômetros convencionais, independem de fatores de desvio na medição, como variações no diâmetro de rodas e deslizamento/patinamento.

Um fator relevante desta arquitetura é o fato do Mapa de Via estar localizado a bordo do trem, no Sistema CBTC de Bordo.

Sobre esta arquitetura, os equipamentos de via e bordo, realizam funções distintas, conforme os sinais que são trocados entre eles:

a) O CBTC de Trem constantemente envia para o CBTC de Via os seguintes sinais:

- Sua posição, calculada pelo Tacômetro e corrigida pelas balisas localizadas ao longo da Via;
- Restrição Aplicada pelo trem;
- Estado de portas do trem;

Nota: Em alguns casos também são enviados para o CBTC de Via, a Velocidade do Trem e o Sentido de Movimento.

b) O CBTC de Via constantemente envia para o CBTC de Bordo os seguintes sinais:

- Autorização Limite de Movimento (ALM);
- Restrições (Comandos restritivos de velocidade necessários por motivos de segurança, como por exemplo, a existência de pessoas na via);
- Regulação;
- Comandos de Portas do trem;
- Estado das portas de plataforma;

Nota: Em alguns casos também são enviadas as posições das máquinas de chaves.

O equipamento CBTC de Bordo, de posse destas informações realiza o cálculo dinâmico do perfil de velocidade segura até a Autorização Limite de Movimento - ALM;

O CBTC de Via também recebe e trata sinais de outros Sistemas, entre eles: SAT (Supervisão Automática de Trens), Detecção de Incêndio, Detecção de Trilho Partido, Intertravamento e Portas de Plataforma.

4.2.2 Arquitetura Típica II

A arquitetura Típica II gerada está representada na figura 4.7.

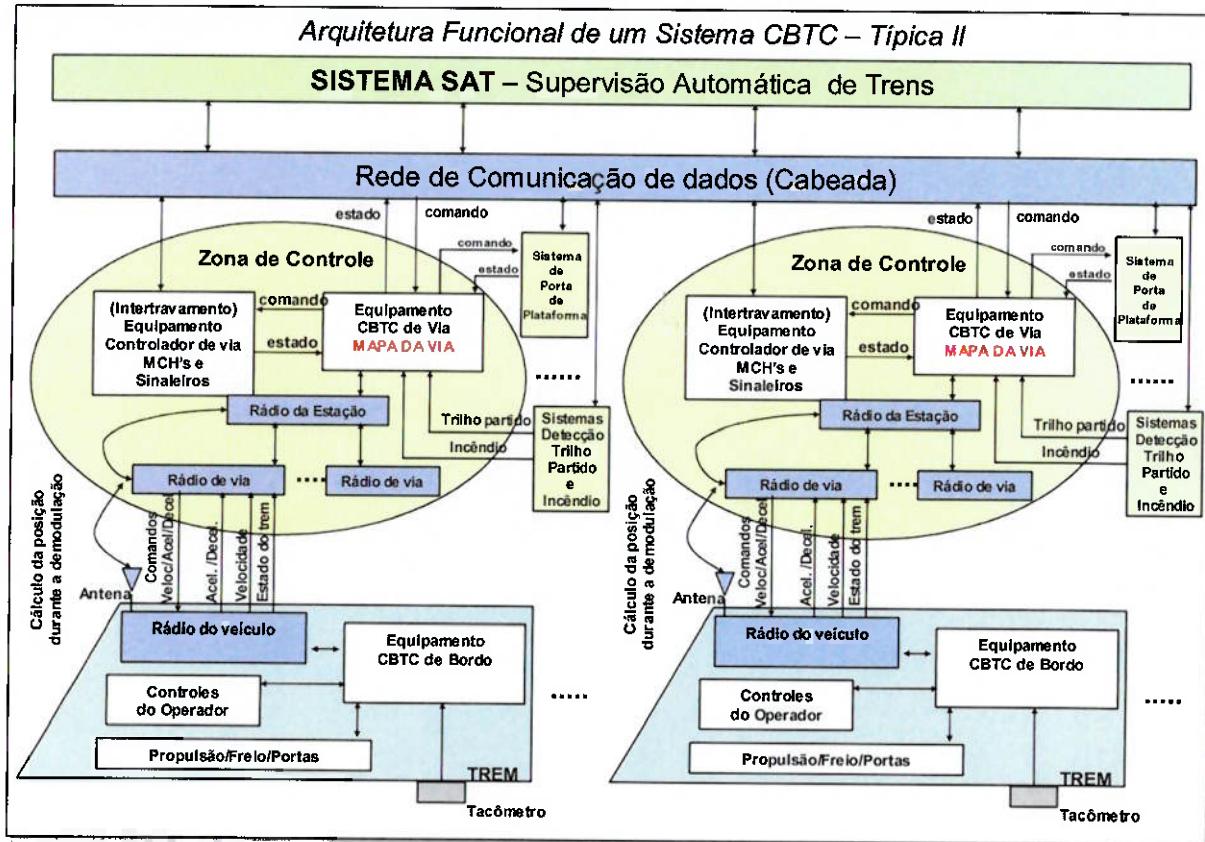


Figura 4.7 – Arquitetura Funcional de um Sistema CBTC Típica II

Esta arquitetura define a utilização de duas redes de comunicação, sendo a primeira delas cabeada, preferencialmente com a utilização de fibra óptica, e no padrão Ethernet 802.3, utilizado pela maioria dos fornecedores.

Nesta rede, o Centro de Controle (SAT), se comunica com os equipamentos:

- CBTC de Via;
- Equipamentos Controladores de Via como Maquinas de Chave e Sinaleiros;
- Sistema de Detecção de Trilho Partido e Incêndio;
- Sistema de Porta de Plataforma.

Assim como na Arquitetura Típica I, em relação ao Intertravamento e o CBTC de Via, existem duas soluções de implementação, que são:

- Equipamentos independentes com uma comunicação dedicada;
- Uma Solução integrada, onde o Sistema de intertravamento é parte integrante do Sistema CBTC de Via, sendo sua comunicação realizada internamente ao equipamento.

Optamos por representar o primeiro caso, por ser ainda a solução mais adotada pela grande maioria dos fornecedores.

A rede de comunicação terra / trem, é uma rede wireless, com a utilização de rádios digitais, na freqüência 2,4 Ghz, padrão 802.11, espalhamento espectral (Spread Spectrum).

Esta arquitetura, diferentemente da Arquitetura Típica 1, não apresenta rede cabeada entre o Rádio da Estação e o Rádio da Via, sendo toda esta comunicação realizada de forma “wireless”.

Outro fator relevante é que esta arquitetura apresenta a solução para a localização dos trens baseados numa rede redundante de rádios sincronizados, com a mesma base horária, onde cada rádio ocupa um espaço de tempo específico para a transmissão e recepção de dados, conforme define o padrão TDMA “Time Division Multiple Access”.

Deste modo, a determinação da posição dos trens, não se baseia nos sinais de balisas e tacômetros, e sim no tempo de propagação de Radiofreqüência (RF) entre os Rádios de Via e do Trem.

Existem vários caminhos de retorno da comunicação do trem para o Computador de Estação (pelo menos 4), obtidos através dos Rádios de Via. Esta redundância de informação ocorre para garantia da segurança na determinação da posição do trem.

Existe nesta arquitetura uma divisão de áreas de controle, chamadas de Zona de Controle (ZC), onde são controlados todos os trens que estão sob este domínio.

Nesta arquitetura o Mapa de Via está localizado no Sistema CBTC de Via.

Os equipamentos CBTC de Via e Bordo realizam funções distintas, de acordo com os sinais trocados entre eles:

a) O trem constantemente envia para o CBTC de Via os seguintes sinais:

- Sua velocidade;
- Sua aceleração / desaceleração;
- Estado do Trem (falhas, estado dos freios)

b) O CBTC de Via que possui a localização de todos os trens e o Mapa da Via, calcula e transmite constantemente a velocidade, aceleração e desaceleração para cada trem;

c) O CBTC de Via controla de forma segura a transição dos trens entre as Zonas de Controle.

4.2.3 Tabela Comparativa das arquiteturas Típicas I e II

De forma sintetizada, as tabelas 4.3 e 4.4 representam os principais sinais trocados entre a via e o bordo nas arquiteturas Típicas I e II.

ARQ. TÍPICA	SINAIS ENVIADOS DA VIA PARA O CBTC DE BORDO							
	POSIÇÃO BALISAS	ALM/ PONTO DE CONFLITO/ PONTO ALVO	RESTRIÇÃO	POSIÇÃO DAS MCH'S	PORAS DO TREM	PORAS DE PLATA- FORMA	REGULAÇÃO	COMANDOS DE VELOCIDADE, ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO
I	X	X	X	X	X	X	X	
II								X

Tabela 4.3 – Sinais enviados da via para o CBTC de Bordo

ARQ. TÍPICA	SINAIS ENVIADOS DO TREM PARA O CBTC DE VIA			
	POSIÇÃO	VELOCIDADE	ESTADO	ACELERAÇÃO/ DESACELERAÇÃO
I	X	X	X	
II		X	X	X

Tabela 4.4 – Sinais enviados do trem para o CBTC de Via

5 MÉTODOS UTILIZADOS PARA ANÁLISE

Nesta monografia utilizaram-se dois métodos para análise das Arquiteturas Típicas e geração das Recomendações de Testes, são eles:

- a) HAZOP;
- b) Árvore de Falhas;

Outras recomendações foram obtidas, como resultado das reuniões com alguns fornecedores, experiência do grupo e da análise das arquiteturas apresentadas, principalmente porque, existiram algumas situações de funcionamento do Sistema de Bloco Móvel com pouca ou nenhuma informação técnica, o que dificultou a aplicação dos métodos utilizados.

5.1 HAZOP [20]

O estudo de identificação de perigos e operabilidade conhecido como HAZOP é uma técnica de análise qualitativa desenvolvida com o intuito de examinar as linhas de processo, identificando perigos e prevenindo problemas. Porém, atualmente, a metodologia é aplicada também para equipamentos envolvidos no processo e até para sistemas.

O método HAZOP é principalmente indicado quando da implantação de novos processos na fase de projeto, ou na modificação de processos já existentes. O ideal na realização do HAZOP é que o estudo seja desenvolvido antes mesmo da fase de detalhamento e construção do projeto, evitando com isso que modificações tenham que ser feitas, quer no detalhamento ou ainda nas instalações, quando o resultado do HAZOP for conhecido. Vale ressaltar que o HAZOP funciona adequadamente para projetos e modificações de qualquer porte. Às vezes, muitos acidentes ocorrem porque se subestima os efeitos secundários de pequenos detalhes ou modificações, que à primeira vista parecem insignificantes e é impossível, antes de se fazer uma análise completa, saber se existem efeitos secundários graves e difíceis de prever.

A técnica HAZOP permite que as pessoas pensem em todos os modos pelos quais um evento indesejado ou problema operacional possa ocorrer. Para evitar que algum detalhe seja omitido, a reflexão deve ser executada de maneira sistemática, analisando cada circuito, linha por linha, para cada tipo de desvio possível de ocorrer nos parâmetros de funcionamento. Para cada linha analisada são aplicadas a série

de palavras-guias, identificando os desvios que podem ocorrer caso a condição proposta pela palavra-guia ocorra.

Identificadas as palavras-guias e os desvios respectivos, pode-se partir para a elaboração das alternativas cabíveis para que o problema não ocorra ou seja mínimo.

As “Palavras Guias” são pré-definidas, onde cada uma delas procura focalizar a atenção num determinado aspecto especial.

As “Palavras Guia” utilizadas e suas respectivas interpretações são apresentadas a seguir:

- a) NO: Nenhum dado ou sinal de controle é recebido;
- b) MORE: O Dado é recebido a uma taxa superior à especificada, ou mais dados são recebidos;
- c) LESS: O Dado é recebido a uma taxa inferior à especificada, ou menos dados são recebidos;
- d) PART OF: O Dado ou Sinal de Controle recebido está incompleto;
- e) OTHER THAN: O Dado ou Sinal de Controle recebido está completo, mas incorreto;
- f) EARLY: O Dado ou Sinal de Controle chega adiantado em relação a uma referência temporal;
- g) LATE: O Dado ou Sinal de Controle chega atrasado em relação a uma referência temporal.

Cada “Palavra Guia” foi aplicada sobre os sinais vitais trocados entre os equipamentos constituintes das Arquiteturas Típicas CBTC. [1].

5.2 ÁRVORE DE FALHAS

A Análise por Árvore de Falhas é a técnica através da qual muitos eventos, se interagem para produzir outros eventos, podendo ser relacionados usando-se lógicas simples (AND, OR, etc...).

Este relacionamento permite a construção metodológica da estrutura que representa o sistema ou equipamento.

O evento de falha do sistema é colocado no topo da árvore.

Os eventos de falha subordinados (subsistema) são ligados ao topo através de conectivos lógicos.

Quando não se pode ou não há necessidade de dividir o evento de falha em outros eventos, termina-se o processo, e este último evento denomina-se evento básico.

Todos os eventos básicos são considerados estatisticamente independentes.

Existe a Análise Qualitativa e a Análise Quantitativa da Árvore de Falhas, conforme explicado a seguir:

a) Análise Qualitativa:

Reducir a árvore a uma forma lógica equivalente combinando os eventos básicos.

b) Análise Quantitativa:

Transforma a estrutura lógica numa forma probabilística equivalente, e desta forma, permite calcular a probabilidade da ocorrência do evento topo, a partir da ocorrência dos eventos básicos.

No contexto deste trabalho somente é necessária a Análise Qualitativa.

Os eventos que podem contribuir para o evento de topo de uma Árvore de Falhas são:

- a) Não recebimento do sinal;
- b) O módulo Falhou;
- c) Erro Humano;
- d) Evento externo ocorreu.

Os símbolos Lógicos utilizados para representar as relações entre os eventos de uma Árvore de Falhas estão representados na Figura 5.1:

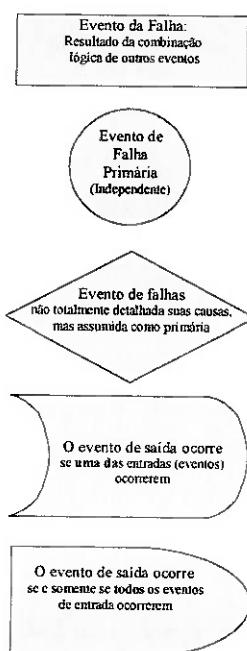


Figura 5.1 – Arquitetura Funcional de um Sistema CBTC Típica II [2]

6 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE ANÁLISE SOBRE A ARQUITETURA TÍPICA I

Para este trabalho, os métodos de análise foram aplicados somente na Arquitetura Típica 1, por se tratar da arquitetura mais utilizada (4 das 5 empresas pesquisadas utilizam a arquitetura típica 1). Uma característica relevante desta arquitetura é que o Mapa da Via se encontra no CBTC a bordo do trem.

A técnica HAZOP foi aplicada sobre os sinais vitais trocados entre os equipamentos existentes na arquitetura típica 1, representada na figura 6.1.

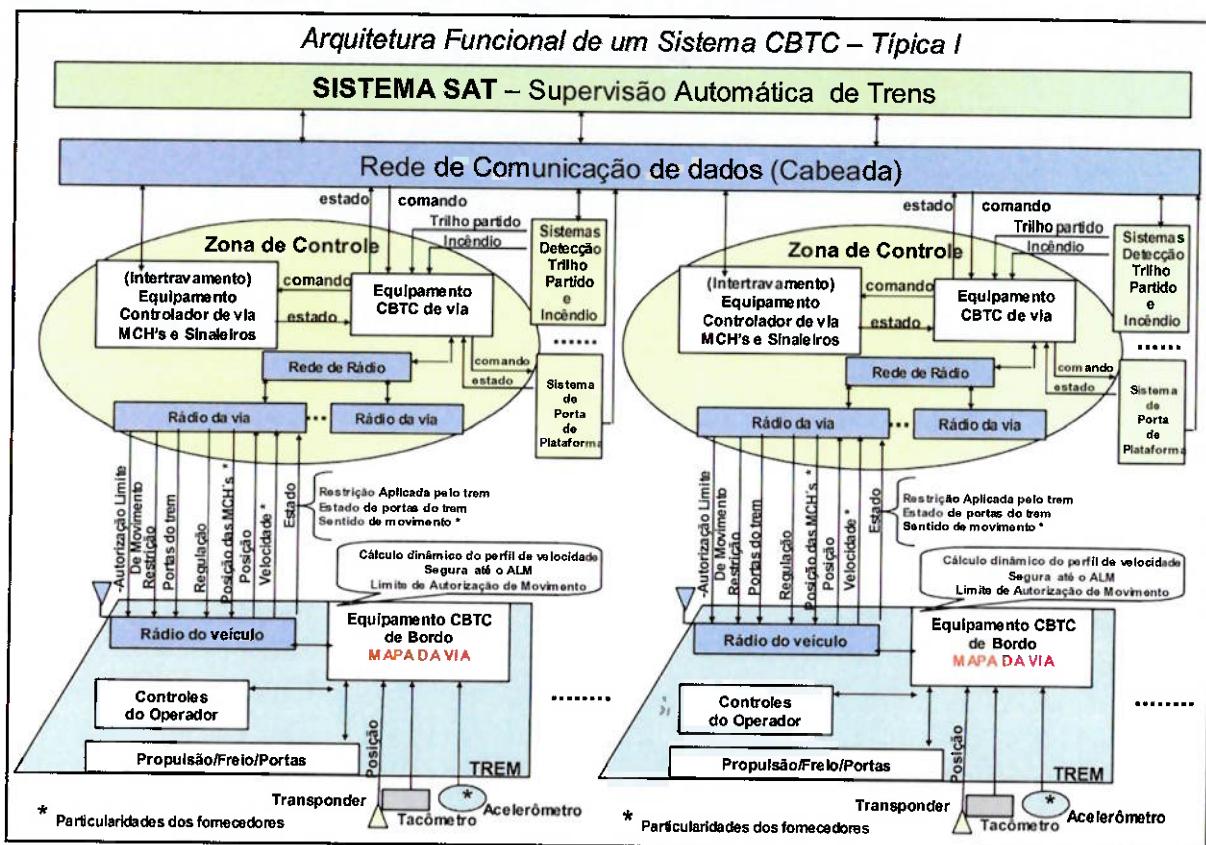


Figura 6.1- Arquitetura Típica I

A técnica de Árvore de Falhas foi aplicada internamente aos equipamentos vitais, identificando suas respectivas hierarquias de falhas.

Os resultados da aplicação destas duas técnicas encontram-se descritos nos itens 6.1 e 6.2 deste capítulo. A partir da análise destes resultados geraram-se as recomendações desta monografia, conforme apresentado no capítulo 7.

6.1 Aplicação da Técnica Hazop

Para aplicação desta técnica, realizou-se inicialmente o levantamento dos perigos, com base nos Requisitos Gerais de Segurança, atualmente utilizados pelas operadoras Metro-ferroviárias, acrescidos de novos requisitos provenientes de necessidades operacionais, como por exemplo, controle de porta de plataforma, detecção de incêndio na via e de trilho partido.

Desta forma, a tabela 6.1, a seguir, apresenta os perigos identificados bem como as ações necessárias para se evitá-los.

Perigo	Ações
Colisões frontais, laterais e traseiras entre trens e ou veículos de manutenção.	Proteção para assegurar a separação entre trens e ou veículos de manutenção em uma mesma via e em regiões de desvio; Proteção contra recuo; Proteção no acoplamento e desacoplamento de trens;
Colisão entre trem e fim de via	Proteção para evitar que o trem atinja o fim de via.
Descarrilamento	Manutenção da via permanente. Proteção para evitar: - Sobre velocidade; - Detecção de trilho partido; - Movimento sobre AMV's que não estejam corretamente posicionados e travados.
Atropelamento de pessoal técnico	Garantir a efetivação dos comandos restritivos em zonas de manutenção.

Tabela 6.1: Principais perigos (Continua)

Atropelamento de usuários em situações de emergência (na via ou regiões de plataforma)	Garantir a efetivação dos comandos restritivos nas regiões afetadas.
Movimentação de trem com portas (plataforma ou trem) abertas;	Garantir o intertravamento da velocidade zero do trem com a abertura de portas(trem e ou estação);
Incêndio informado pelo Sistema de Detecção de Incêndio.	Garantir que os trens não se aproximem e ou não permaneçam no foco do incêndio.
Trilho partido informado pelo Sistema de detecção de trilho partido.	Garantir a não circulação de trens na área comprometida.
Abertura das portas do trem na estação do lado errado.	Garantir que a abertura das portas do trem ocorra de acordo com o lado comandado pelo equipamento da estação.

Tabela 6.1: Principais perigos (Conclusão) [1]

A partir destes perigos foram considerados os seguintes sinais vitais da arquitetura típica I:

Observação:

Os sinais vitais sinalizados com asterístico (*), referem-se a particularidade da arquitetura de alguns fornecedores.

a) Sinais de entrada para o Equipamento CBTC de Bordo

- Posição (do transponder);
- Autorização Limite de Movimento;
- Restrição;
- Portas do trem;
- Posição de Máquinas de Chave (Estado) *.

b) Sinais de entrada para o Equipamento CBTC de Via

- Posição;

- Restrição aplicada pelo trem (Estado);
- Estado das portas do trem (Estado);
- Sentido de Movimento *;
- Estado da porta de plataforma; .
- Incêndio;
- Trilho Partido;
- Posição de Máquinas de Chave (Estado);
- Comandos restritivos;
- Velocidade *;

c) Equipamento Controlador de Via (MCH's e Sinaleiros), Sistema de Detecção de Trilho Partido, Incêndio e Sistema de Porta de Plataforma:

- Os sinais enviados para estes Sistemas, bem como suas funções não serão abordados neste estudo, somente serão analisados os sinais recebidos pelo CBTC, escopo deste trabalho.

Finalmente, foram aplicadas as palavras guias sobre os desvios de cada sinal vital. Como previsto na aplicação deste método, existiram casos que, para alguns sinais, uma ou outra palavra guia não teve aplicação e consequentemente não ocorriam desvios. A partir dos desvios realmente observados foram criadas as ações que devem ser tomadas pelo Sistema CBTC (de Bordo e de Via) para garantia da segurança, mesmo em situações de falha, conforme representado nas tabelas 6.2 e 6.3 a seguir:

EQUIPAMENTO CBTC DE BORDO - TÍPICA I				
	PALAVRA GUIA	DESVIOS	AÇÕES	JUSTIFICATIVAS
POSIÇÃO	NO	A posição não é atualizada pela balisa	O equipamento CBTC de Bordo deve se recuperar desta falha aumentando o tamanho virtual do trem, representando, desta forma, a imprecisão no posicionamento do trem.	
	PART OFF	A posição da balisa é recebida de forma incompleta	O equipamento CBTC de Bordo deve se recuperar desta falha aumentando o tamanho virtual do trem, representando, desta forma, a imprecisão no posicionamento do trem.	
	OTHER THAN	A posição da balisa é recebida de forma completa porém incorreta	O equipamento CBTC de Bordo deve se recuperar desta falha aumentando o tamanho virtual do trem, representando, desta forma, a imprecisão no posicionamento do trem.	
	EARLY	A posição da balisa é recebida antecipadamente em relação a uma referência temporal, calculada pelo trem	O equipamento CBTC de Bordo irá atualizar a posição do trem de acordo com a da balisa. Caso a diferença entre a posição da balisa e a calculada pelo trem for maior que um valor pré-definido, o equipamento CBTC de bordo deve se recuperar desta falha aumentando o seu tamanho virtual, representando a esta forma a imprecisão no posicionamento do trem.	
	LATE	A posição da balisa é recebida atrasada em relação a uma referência temporal, calculada pelo trem	O equipamento CBTC de Bordo irá atualizar a posição do trem de acordo com a da balisa. Caso a diferença entre a posição da balisa e a calculada pelo trem for maior que um valor pré-definido, o equipamento CBTC de bordo deve se recuperar desta falha aumentando o seu tamanho virtual, representando a esta forma a imprecisão no posicionamento do trem.	
AUTORIZAÇÃO LIMITE DE MOVIMENTO	NO	A autorização limite de movimento não é recebida	Caso não receba a autorização limite de movimento dentro de um tempo pré determinado, o equipamento CBTC de Bordo deve recuperar-se desta falha aplicando freio até a parada total da composição.	
	MORE	A autorização limite de movimento é recebida a uma taxa superior a esperada.	O equipamento CBTC só irá considerar sinais recebidos na sua janela de tempo e caso receba a autorização limite de movimento a uma taxa superior a esperada, deverá recuperar-se desta falha aplicando freio até a parada total da composição.	Todo Sinal recebido fora da janela de tempo esperada será considerado ruído.
	LESS	A autorização limite de movimento é recebida a uma taxa inferior a esperada.	O equipamento CBTC só irá considerar sinais recebidos na sua janela de tempo e caso receba a autorização limite de movimento a uma taxa inferior a esperada, deverá recuperar-se desta falha aplicando freio até a parada total da composição.	Todo Sinal recebido fora da janela de tempo esperada será considerado ruído.
	PART OFF	A autorização limite de movimento é recebida de forma incompleta	O equipamento CBTC de Bordo deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação e aplicar freio até a parada total da composição.	
	OTHER THAN	A autorização limite de movimento é recebida de forma completa,mas incorreta.	O equipamento CBTC de Bordo deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo através de CRC's), informar o recebimento incorreto ao Equipamento CBTC de via e aplicar freio até a parada total da composição.	

Tabela 6.2 – HAZOP CBTC de Bordo (Continua)

EQUIPAMENTO CBTC DE BORDO - TÍPICA I				
	PALAVRA GUIA	DESVIOS	AÇÕES	JUSTIFICATIVAS
RESTRIÇÃO	PART OFF	A restrição é recebida de forma incompleta	O equipamento CBTC de Bordo deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação e informar o não recebimento da restrição ao Equipamento CBTC de via e aplicar freio até a parada total da composição.	
	OTHER THAN	A restrição é recebida de forma completa, mas incorreta.	O equipamento CBTC de Bordo deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo através de CRC's), informar o recebimento incorreto ao Equipamento CBTC de via e aplicar freio até a parada total da composição.	
PORTAS DO TREM	OTHER THAN	O comando de abertura/fechamento de portas recebido do CBTC de via está completo mas incorreto.	O equipamento CBTC de Bordo deve possuir intertravamento de forma a garantir abertura/fechamento do lado correto	
	EARLY	O comando de abertura de portas é recebido antes do trem estar parado e corretamente alinhado na plataforma	O equipamento CBTC de Bordo deve garantir: - Intertravamento com velocidade zero; - Alinhamento correto do trem na plataforma;	
POSIÇÕES DAS MCH'S *	NO	A posição da MCH não é atualizada	O equipamento CBTC de bordo deve recuperar-se desta falha, parando o trem antes da região da máquina de chave, de forma a evitar descarrilamentos e colisões.	
	MORE	A posição da MCH é recebida a uma taxa superior a esperada.	O equipamento CBTC de bordo só irá considerar sinais recebidos na sua janela de tempo e caso receba a posição a uma taxa superior a esperada, deve recuperar-se desta falha, parando o trem antes da região da máquina de chave, de forma a evitar descarrilamentos e colisões.	
	LESS	A posição da MCH é recebida a uma taxa inferior esperada.	O equipamento CBTC de bordo só irá considerar sinais recebidos na sua janela de tempo e caso receba a posição a uma taxa inferior a esperada, deve recuperar-se desta falha, parando o trem antes da região da máquina de chave, de forma a evitar descarrilamentos e colisões.	
	PART OFF	A posição da MCH é recebida de forma incompleta	O equipamento CBTC de bordo deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação e recuperar-se desta falha, parando o trem antes da região da máquina de chave, de forma a evitar descarrilamentos e colisões.	
	OTHER THAN	A posição da MCH é recebida de forma completa porém incorreta	O equipamento CBTC de bordo deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo através de CRC's), e recuperar-se desta falha, parando o trem antes da região da máquina de chave, de forma a evitar descarrilamentos e colisões.	

Tabela 6.2 – HAZOP CBTC de Bordo (Conclusão)

EQUIPAMENTO CBTC DE VIA - TÍPICA I				
	PALAVRA GUIA	DESVIOS	AÇÕES	JUSTIFICATIVA
POSIÇÃO	NO	A posição do trem não é atualizada	O equipamento CBTC de Via deve se recuperar desta falha, restringindo Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.	
	MORE	A posição do trem é recebida a uma taxa superior a esperada.	O equipamento CBTC só irá considerar sinais recebidos na sua janela de tempo e caso receba a posição a uma taxa superior a esperada, deverá se recuperar desta falha restringindo a Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.	Todo Sinal recebido fora da janela de tempo esperada será considerado ruído.
	LESS	A posição é recebida a uma taxa inferior a especificada.	O equipamento CBTC só irá considerar sinais recebidos na sua janela de tempo e caso receba a posição a uma taxa inferior a esperada, deverá se recuperar desta falha, restringindo a Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.	Todo Sinal recebido fora da janela de tempo esperada será considerado ruído.
	PART OFF	A posição do trem é recebida de forma incompleta	O equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação, informar o não recebimento ao CBTC de bordo, e restringir a Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.	
	OTHER THAN	A posição do trem é recebida de forma completa porém incorreta	O equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo CRC's), informar o recebimento incorreto ao CBTC de Bordo, e restringir a Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.	
RESTRIÇÃO APLICADA PELO TREM	NO	A informação de retorno de atendimento ao comando de restrição não é recebida pelo equipamento CBTC de via	Para evitar condições inseguras no distanciamento entre trens, descarrilamentos e atropelamentos, o equipamento CBTC de Via deve se recuperar desta falha, enviando um comando mais restritivo, como por exemplo velocidade zero ou redução na autorização de movimento.	Consideramos que o equipamento CBTC deve receber esta confirmação de comando aplicado pelo trem.
	PART OFF	A informação de retorno de atendimento ao comando de restrição é recebida pelo equipamento CBTC de via de forma incompleta.	O equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação, informar o não recebimento ao CBTC de bordo, e para evitar condições inseguras no distanciamento entre trens, descarrilamentos e atropelamentos, o equipamento CBTC de Via deve se recuperar desta falha, enviando um comando mais restritivo, como por exemplo velocidade zero ou redução na autorização de movimento.	
	OTHER THAN	A informação de retorno de atendimento ao comando de restrição é recebida pelo equipamento CBTC de via de forma completa mas incorreta	O equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo através de CRC's), informar o recebimento incorreto ao CBTC de bordo, e para evitar condições inseguras no distanciamento entre trens, descarrilamentos e atropelamentos, o equipamento CBTC de Via deve se recuperar desta falha, enviando um comando mais restritivo, como por exemplo velocidade zero ou redução na autorização de movimento.	
	EARLY	A informação de retorno de atendimento ao comando de restrição é recebida adiantada em relação a uma referência temporal esperada pelo equipamento CBTC de via.	Caso receba o retorno da restrição aplicada adiantada em relação a um tempo mínimo de execução, o equipamento CBTC de Via não deve tratar este sinal. Em permanecendo esta situação, deve recuperar-se desta falha enviando um comando mais restritivo.	
	LATE	A informação de retorno de atendimento ao comando de restrição é recebida atrasada em relação a uma referência temporal esperada pelo equipamento CBTC de via.	Para evitar condições inseguras no distanciamento entre trens, descarrilamentos e atropelamentos, o equipamento CBTC de Via deve se recuperar desta falha, enviando um comando mais restritivo, como por exemplo velocidade zero ou redução na autorização de movimento.	

Tabela 6.3 – HAZOP CBTC de Via (Continua)

EQUIPAMENTO CBTC DE VÍA - TÍPICA I				
	PALAVRA GUIA	DESVIOS	AÇÕES	JUSTIFICATIVA
ESTADO DAS PORTAS DO TREM PARADO NA ESTAÇÃO	NO	A informação do estado das portas do trem não é recebida.	O equipamento CBTC de Vía deve se recuperar desta falha, reenviando o comando de abertura / fechamento, e acionar um alarme em um posto operacional e não autorizar a movimentação do trem.	Esta ação se faz necessária principalmente para sistemas driverless.
	OTHER THAN	A informação do estado das portas recebida do trem está completa mas incorreta.	O equipamento CBTC de Vía deve recuperar-se desta falha, reenviando o comando de abertura/fechamento, e permanecendo a falha deve acionar um alarme em um posto operacional e não autorizar a movimentação do trem.	Foi considerado o trem parado na estação, pois em movimento as ações corretivas serão do CBTC de bordo.
	EARLY	A informação do estado das portas do trem é recebida adiantada em relação a uma referência temporal esperada pelo equipamento CBTC de via.	O equipamento CBTC de via não tratará sinais recebidos antes de um tempo mínimo pré-definido de execução do comando solicitado e também não irá autorizar a movimentação do trem antes deste tempo.	Esta ação pressupõe que a informação de estado de porta é constantemente enviada.
ESTADO DAS PORTAS DE PLATAFORMA	NO	A informação do estado das portas de plataforma não é recebida.	O equipamento CBTC de Vía deve se recuperar desta falha, reenviando o comando de abertura / fechamento para o Sistema de Portas de Plataforma, e permanecendo a falha, acionar um alarme em um posto operacional e não autorizar a movimentação do trem.	Esta ação se faz necessária principalmente para sistemas driverless.
	OTHER THAN	A informação do estado das portas da plataforma está completa mas incorreta.	<p>O equipamento CBTC de Vía deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo através de CRC's)</p> <p>Com trem na plataforma: O equipamento CBTC de Vía deve recuperar-se desta falha, reenviando o comando de abertura/fechamento para o Sistema de Portas de Plataforma, e permanecendo a falha deve acionar um alarme em um posto operacional e não autorizar a movimentação do trem.</p> <p>Sem trem na plataforma: O Sistema CBTC não deve permitir a aproximação de trem na plataforma e deve acionar um alarme em um posto operacional, pois pode existir usuário na via.</p>	A informação incorreta foi considerada como diferente da esperada pelo CBTC.
	EARLY	A informação do estado das portas do trem é recebida adiantada em relação a uma referência temporal esperada pelo equipamento CBTC de via.	O equipamento CBTC de via não tratará sinais recebidos antes de um tempo mínimo pré-definido de execução do comando solicitado e também não irá autorizar a movimentação do trem antes deste tempo.	Esta ação pressupõe que a informação de estado de porta é constantemente enviada.

Tabela 6.3 – HAZOP CBTC de Vía (Continua)

EQUIPAMENTO CBTC DE VIA - TÍPICA I				
	PALAVRA GUIA	DESVIOS	AÇÕES	JUSTIFICATIVA
INCÊNDIO	NO	Nenhum dado é recebido	O Sistema deve recuperar-se desta falha através do monitoramento de falhas do canal de comunicação. E em caso de falha no canal, o CBTC deve gerar um alarme nos postos operacionais.	
	PART OFF	A informação de incêndio está incompleta	O equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação, informar o recebimento incompleto da mensagem ao Sistema de Detecção de Incêndio, e deve gerar um alarme nos postos operacionais.	Nesta situação o CBTC de via não pode tomar uma ação, pois sem a identificação correta da mensagem pode levar os trens a uma condição insegura. Por exemplo, prosseguir ou parar no foco do incêndio. Desta forma, recomendamos que o Sistema de Detecção de Incêndio seja Vital e seja submetido a Análise de Segurança Independente.
TRILHO PARTIDO	NO	Nenhum dado é recebido	O Sistema deve recuperar-se desta falha através do monitoramento de falhas do canal de comunicação. E em caso de falha no canal, o CBTC deve gerar um alarme nos postos operacionais e permanecendo a falha por período pré-determinado, deve enviar uma comando restritivo para os trens.	
	PART OFF	A informação de trilho partido está incompleta	O equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação, e permanecendo a falha deve enviar um comando restritivo para os trens.	

Tabela 6.3 – HAZOP CBTC de Via (Continuação)

EQUIPAMENTO CBTC DE VIA - TÍPICA I				
	PALAVRA GUIA	DESVIOS	AÇÕES	JUSTIFICATIVA
POSIÇÃO DAS MCH'S	NO	A posição das MCH's não é autorizada	O equipamento CBTC de via deve recuperar-se desta falha impondo condições restritivas, de forma a evitar descarrilamentos e colisões.	
	MORE	A posição das MCH's é recebida a uma taxa superior a esperada.	O equipamento CBTC só irá considerar sinais recebidos na sua janela de tempo e caso receba a posição a uma taxa superior a esperada, deverá impor condições restritivas, de forma a evitar descarrilamentos e colisões.	Esta condição não se aplica no caso de uma comunicação vital através de relés e E/S digital.
	LESS	A posição das MCH's é recebida a uma taxa inferior esperada.	O equipamento CBTC só irá considerar sinais recebidos na sua janela de tempo e caso receba a posição a uma taxa inferior a esperada, deverá impor condições restritivas, de forma a evitar descarrilamentos e colisões.	Esta condição não se aplica no caso de uma comunicação vital através de relés e E/S digital.
	PART OFF	A posição das MCH's é recebida de forma incompleta	O equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação e impor condições restritivas, de forma a evitar descarrilamentos e colisões.	Esta condição não se aplica no caso de uma comunicação vital através de relés e E/S digital.
	OTHER THAN	A posição das MCH's é recebida de forma completa porém incorreta	O equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo através de CRC's), e impor condições restritivas, de forma a evitar descarrilamentos e colisões.	Esta condição não se aplica no caso de uma comunicação vital através de relés e E/S digital.
COMANDOS RESTRITIVOS	PART OFF	O comando restritivo vindo do CCO é recebido de forma incompleta	O equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação e informar o não recebimento da restrição ao CCO.	
	OTHER THAN	O comando restritivo é recebido de forma completa, mas incorreta.	O equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo através de CRC's), informar o não recebimento da restrição ao CCO.	

Tabela 6.3 – HAZOP CBTC de Via (Continuação)

EQUIPAMENTO CBTC DE VIA - TÍPICA I				
	PALAVRA GUIA	DESVIOS	AÇÕES	JUSTIFICATIVA
VELOCIDADE *	NO	A velocidade do trem não é atualizada	O equipamento CBTC de Via deve se recuperar desta falha, restringindo a Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.	
	MORE	A velocidade do trem é recebida a uma taxa superior a esperada.	O equipamento CBTC de via só irá considerar sinais recebidos na sua janela de tempo e caso receba a velocidade a uma taxa superior a esperada deverá recuperar-se desta falha, restringindo a Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.	Todo Sinal recebido fora da janela de tempo esperada será considerado ruído.
	LESS	A velocidade é recebida a uma taxa inferior a especificada.	O equipamento CBTC de via só irá considerar sinais recebidos na sua janela de tempo e caso receba a velocidade a uma taxa inferior a esperada deverá se recuperar desta falha, restringindo a Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.	Todo Sinal recebido fora da janela de tempo esperada será considerado ruído.
	PART OFF	A velocidade do trem é recebida de forma incompleta	O equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação e restringir Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.	
	OTHER THAN	A velocidade do trem é recebida de forma completa porém incorreta	O equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo CRC's), e restringir Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.	

Tabela 6.3 – HAZOP CBTC de Via (Conclusão)

6.2 Aplicação da Técnica Árvore de Falhas

A aplicação da técnica Árvore de Falhas é feita visando abranger as novas funções vitais que surgiram com a tecnologia CBTC.

Desta forma, foi feito um levantamento das funções dos equipamentos CBTC de Via e bordo, e sobre estas, tratou-se de separar para a aplicação da Árvore de Falhas, somente aquelas que atendem à condição de novas funções vitais destes dois equipamentos.

Para a escolha das funções vitais, foram adotados os seguintes critérios:

- (1) As funções já tratadas na técnica HAZOP, serão desconsideradas;
- (2) As funções já tratadas no sistema Bloco Fixo, serão desconsideradas;
- (3) As funções não vitais, serão desconsideradas.
- (4) As Funções resultantes serão consideradas para aplicação da técnica Árvore de Falhas;

Para a seleção de quais funções serão aplicadas a técnica de Árvore de Falhas, selecionou-se as funções do CBTC, de acordo com o critério adotado no parágrafo anterior, onde para cada critério associou-se um número entre parênteses ():

a) Equipamento CBTC de Bordo:

- Recepção da posição das balisas (1)
- Processamento de tacômetro (4)
- Processamento do acelerômetro (4)
- Determinação de sua posição (4)
- Envio da sua posição e de seu estado operacional ao CBTC de via (1)
- Recepção dos sinais provenientes do CBTC de via (autorização limite de movimento, restrições comandos de portas, etc.) (1)
- Geração do perfil de velocidade do trem (4)
- Supervisão da capacidade de frenagem (2)
- Supervisão e Controle dos Sistemas de Propulsão e Frenagem (2)
- Supervisão e Controle do Sistema de Portas do Trem (2)
- Execução das paradas automáticas nas estações (3)
- Realização das manobras automáticas nos finais de via e estacionamentos (3)
- Regulação Automática de Velocidade (3)
- Proteção contra “Roll-Back” (2)

b) Equipamento CBTC de Via:

- Atendimento aos comandos do Centro de Controle (Regulação, Rotas, Retenção de trens nas estações, tempo de portas, etc.) (2) (3)
- Recepção da posição de todos os trens ao longo da via (1)
- Comanda o controlador de via (Máquinas de chaves) para obtenção das rotas desejadas, bem como a supervisão do estado destas máquinas de chave (1)
- Adoção de ações específicas de segurança quando do recebimento da informação de trilho partido (1)
- Adoção de ações específicas de segurança quando do recebimento da informação de incêndio (1)
- Controlar e supervisionar o Sistema de portas de plataforma (1)
- Controlar e supervisionar o Sistema de portas do trem (1)
- Calcula e envia a Autorização Limite de Movimento para todos os trens (1)
- Envia restrições aos trens (1)

- Recebe e envia sinais de interface dos CBTC's de Via das Zonas de Controle Adjacentes (2)

A partir das funções identificadas, foi aplicada Árvore de Falhas somente para as funções vitais (4) do Sistema CBTC, conforme figuras 6.2 e 6.3, como segue:

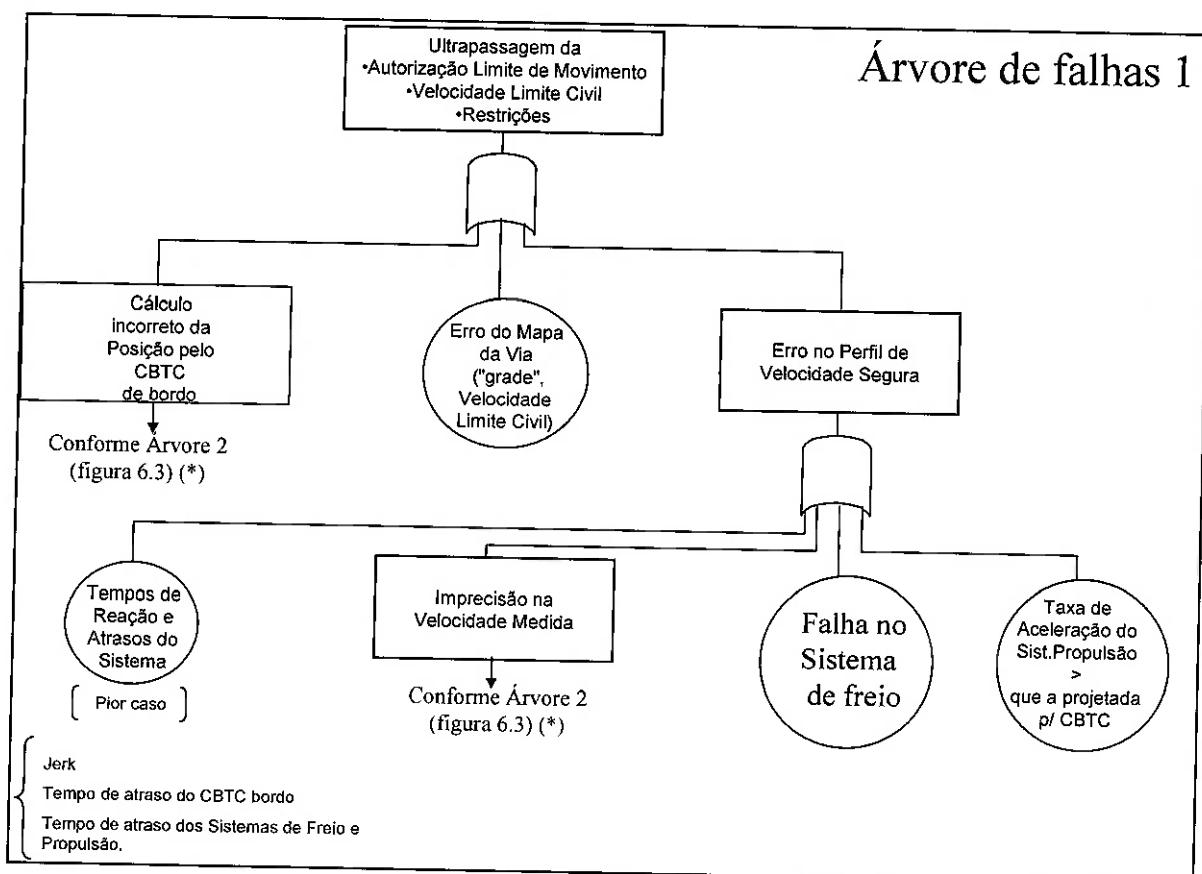


Figura 6.2 - Árvore de Falhas 1

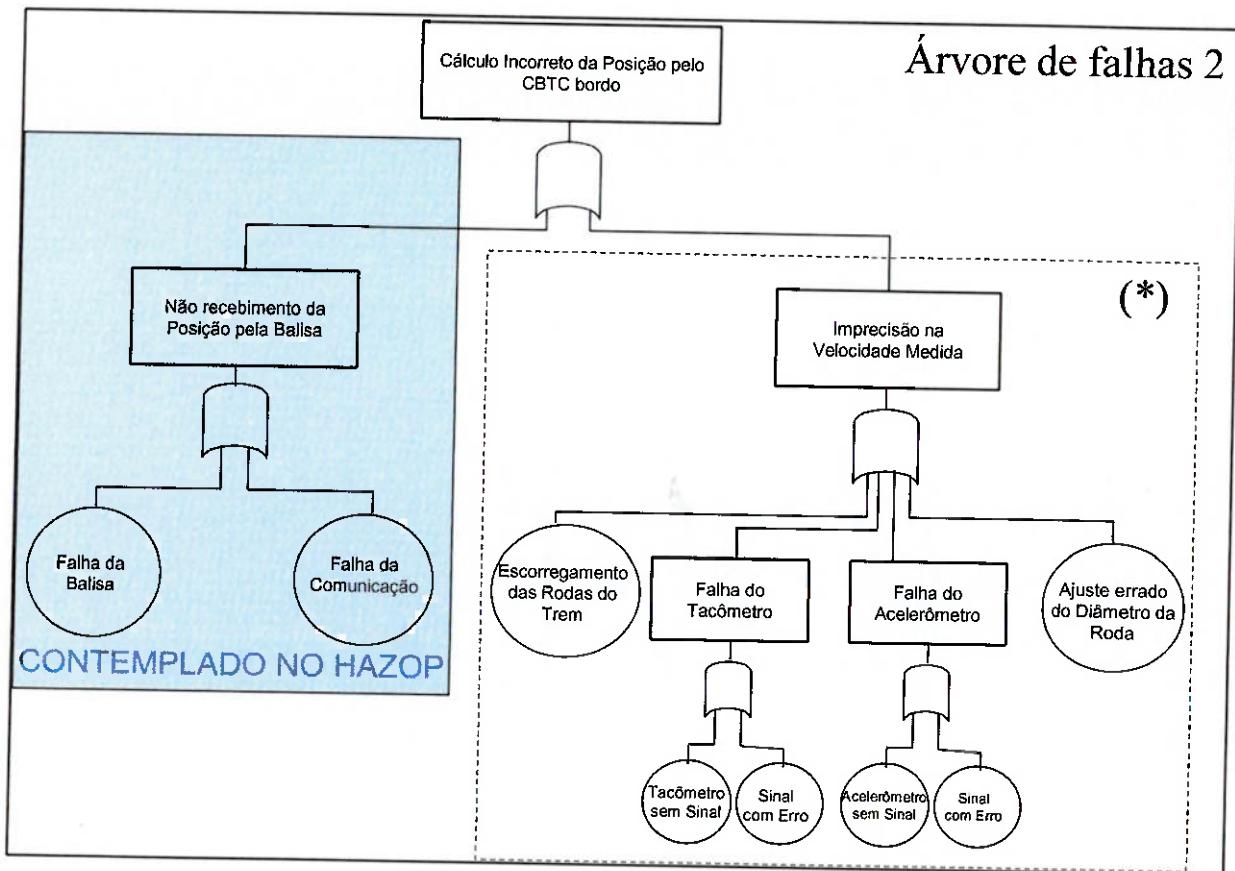


Figura 6.3 - Árvore de Falhas 2

A partir da análise destes resultados, obtidos pela aplicação do HAZOP e Árvore de Falhas, geraram-se as recomendações de Teste, conforme apresentado no capítulo 7.

7 RECOMENDAÇÕES

Este Capítulo apresenta as Recomendações, geradas através da análise dos dados obtidos pela aplicação das técnicas HAZOP e Árvore de falhas, conforme descrito no Capítulo 6.

De forma complementar, foram geradas outras Recomendações que surgiram da análise das arquiteturas, das reuniões técnicas realizadas, experiência profissional na área de sinalização e das consultas à fornecedores, que se encontram no final deste capítulo sob o título Recomendações Complementares.

7.1 Recomendações obtidas através da Técnica HAZOP

7.1.1 CBTC de Bordo

- a) Função: Atualização da posição do trem através das balisas.

Recomendação 1

Quando a posição da Balisa não é recebida, ou é recebida de forma incompleta, ou é recebida de forma completa porém incorreta, o equipamento CBTC de bordo deve se recuperar desta falha aumentando o tamanho virtual do trem, para compensar desta forma a imprecisão no posicionamento do trem.

Recomendação 2

Quando a posição da balisa é recebida antecipada ou atrasada em relação a uma referência temporal, calculada pelo trem, o equipamento CBTC de bordo irá atualizar a posição do trem de acordo com a da balisa. Caso a diferença entre a posição da balisa e a calculada pelo trem for maior que um valor pré-definido, o equipamento CBTC de bordo deve se recuperar desta falha aumentando o tamanho virtual do trem, para compensar desta forma a imprecisão no posicionamento do trem.

- b) Função: Autorização Limite de Movimento recebida do CBTC de Via

Recomendação 3

Quando a Autorização Limite de Movimento não é recebida do Equipamento CBTC de Via, dentro de um tempo pré-determinado, o equipamento CBTC de

Bordo deve recuperar-se desta falha aplicando freio até a parada total da composição.

Recomendação 4

Quando a Autorização Limite de Movimento é recebida do Equipamento CBTC de Via, a uma taxa superior ou inferior a esperada, o equipamento CBTC só irá considerar sinais recebidos na sua janela de tempo e deverá recuperar-se desta falha aplicando freio até a parada total da composição.

Observação:

Todo sinal recebido fora da janela de tempo esperada será considerado ruído.

Recomendação 5

Quando a Autorização Limite de Movimento (ALM) é recebida, do Equipamento CBTC de Via, de forma incompleta, o equipamento CBTC de Bordo deve confirmar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação, informar o recebimento incorreto ao Equipamento CBTC de via e aplicar freio até a parada total da composição.

Recomendação 6

Quando a Autorização Limite de Movimento é recebida de forma completa, mas incorreta, o equipamento CBTC de Bordo deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo, através de CRC's), informar o recebimento incorreto ao Equipamento CBTC de via e aplicar freio até a parada total da composição.

c) Função: Restrição recebida do equipamento CBTC de Via

Recomendação 7

Quando a Restrição é recebida, do Equipamento CBTC de Via, de forma incompleta, o equipamento CBTC de Bordo deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação e informar o não recebimento da restrição ao Equipamento CBTC de via e aplicar freio até a parada total da composição.

Recomendação 8

Quando a restrição é recebida de forma completa, mas incorreta, o equipamento CBTC de Bordo deve verificar esta falha através de diagnóstico

no protocolo de comunicação (por exemplo através de CRC's), informar o recebimento incorreto ao Equipamento CBTC de via e aplicar freio até a parada total da composição.

d) Função: Comandos de abertura e fechamento das portas do trem.

Recomendação 9

Quando o comando de abertura/fechamento de portas, recebido do CBTC de via, está completo mas incorreto, o equipamento CBTC de Bordo, que possui configuração de cada estação existente no seu Mapa da Via, não deve permitir abertura/fechamento do lado incorreto, que foi solicitado pelo CBTC de via.

Recomendação 10

Quando o comando de abertura de portas é recebido antes do trem estar parado e corretamente alinhado na plataforma, o equipamento CBTC de Bordo deve garantir:

- Intertravamento com velocidade zero;
- Alinhamento correto do trem na plataforma.

e) Função: Posição das Máquinas de chave recebida do CBTC de Via.

Recomendação 11

Quando a posição da Máquina de Chave, não é atualizada, o equipamento CBTC de bordo deve se recuperar desta falha parando o trem antes da região da Máquina de Chave.

Recomendação 12

Quando a posição da Máquina de Chave é recebida do Equipamento CBTC de Via a uma taxa superior ou inferior a esperada, o equipamento CBTC de Bordo só irá considerar sinais recebidos na sua janela de tempo e deverá recuperar-se desta falha parando o trem antes da região da Máquina de Chave.

Observação:

Todo sinal recebido fora da janela de tempo esperada será considerado ruído.

Recomendação 13

Quando a posição da Máquina de Chave é recebida, do Equipamento CBTC de Via, de forma incompleta, o equipamento CBTC de Bordo deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação, informar o não recebimento da restrição ao Equipamento CBTC de via e parar o trem antes da região da Máquina de Chave.

Recomendação 14

Quando a posição da Máquina de Chave é recebida de forma completa, mas incorreta, o equipamento CBTC de Bordo deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo através de CRC's), informar o recebimento incorreto ao Equipamento CBTC de via e parar o trem antes da região da Máquina de Chave.

7.1.2 CBTC de Via

- a) Função: Recebimento da posição de cada trem.

Recomendação 15

Quando a posição do trem não é atualizada, o equipamento CBTC de Via deve se recuperar desta falha, restringindo a Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.

Recomendação 16

Quando a posição do trem é recebida a uma taxa superior ou inferior a esperada, o equipamento CBTC só irá considerar os sinais recebidos na sua janela e deverá se recuperar desta falha, restringindo a Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.

Recomendação 17

Quando a posição do trem é recebida de forma incompleta, o equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação, informar o não recebimento ao CBTC de bordo e restringir a Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.

Recomendação 18

Quando a posição do trem é recebida de forma completa porém incorreta, o equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo CRC's), informar o recebimento

incorreto ao CBTC de Bordo e restringir a Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.

- b) Função: Retorno de atendimento a um comando restritivo, recebido do CBTC de Bordo.

Observação:

Consideramos neste trabalho, que o equipamento CBTC de via deve receber uma confirmação de comando restritivo aplicado pelo trem, para que no caso de uma não efetivação do comando, ações corretivas possam ser tomadas, garantindo a Segurança do Sistema.

Recomendação 19

Quando a informação de retorno de atendimento ao comando de restrição, enviada pelo equipamento CBTC de bordo, não é recebida pelo equipamento CBTC de via, o equipamento CBTC de Via deve se recuperar desta falha, enviando um comando mais restritivo, como por exemplo velocidade zero ou redução na Autorização Limite de Movimento.

Recomendação 20

Quando a informação de retorno de atendimento ao comando de restrição, enviada pelo equipamento CBTC de bordo, é recebida de forma incompleta, o equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação, informar o não recebimento ao CBTC de bordo e se recuperar desta falha, enviando um comando mais restritivo, como por exemplo velocidade zero ou redução na autorização de movimento.

Recomendação 21

Quando a informação de retorno de atendimento ao comando de restrição enviada pelo equipamento CBTC de bordo, é recebida de forma completa mas incorreta, o equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo através de CRC's), informar o recebimento incorreto ao CBTC de bordo e se recuperar desta falha, enviando um comando mais restritivo, como por exemplo velocidade zero ou redução na autorização de movimento.

Recomendação 22

Quando a informação de retorno de atendimento ao comando de restrição, enviada pelo equipamento CBTC de bordo, é recebida adiantada em relação a um tempo mínimo de execução esperado (que é o tempo suficiente para o trem receber tratar e efetivamente aplicar a restrição), o equipamento CBTC de Via não deve tratar este sinal. Em permanecendo esta situação, deve recuperar-se desta falha enviando um comando mais restritivo, pois não sabe se o trem de fato aplicou o primeiro comando solicitado, uma vez que sua resposta antecede o tempo mínimo de execução.

Recomendação 23

Quando a informação de retorno de atendimento ao comando de restrição é recebida atrasada em relação a uma referência temporal esperada, o equipamento CBTC de Via deve recuperar-se desta falha, enviando um comando mais restritivo, como por exemplo, velocidade zero ou redução na Autorização de Movimento.

- c) Função: Estado das portas de um trem parado na estação.

Observação:

Foi considerado o trem parado na estação, pois em movimento as ações corretivas são do CBTC de bordo.

Recomendação 24

Quando a informação do estado das portas do trem não é recebida, o equipamento CBTC de Via deve se recuperar desta falha, reenviando o comando de abertura e fechamento, acionando um alarme em um posto operacional e não autorizando a movimentação do trem.

Esta ação se faz necessária principalmente para sistemas “driverless”.

Recomendação 25

Quando a informação de estado das portas, recebida do trem, está completa mas incorreta, o equipamento CBTC de Via deve recuperar-se desta falha, reenviando o comando de abertura/fechamento, e permanecendo a falha

deve acionar um alarme em um posto operacional além de não autorizar a movimentação do trem.

Esta ação se faz necessária principalmente para sistemas “driverless”.

Recomendação 26

Quando a informação de estado das portas do trem é recebida adiantada em relação a uma referência temporal esperada, o equipamento CBTC de via não tratará sinais recebidos antes de um tempo mínimo pré-definido de execução do comando solicitado e também não irá autorizar a movimentação do trem antes deste tempo.

Observação:

Esta ação pressupõe que a informação de estado de porta é constantemente enviada.

d) Função: Estado das Portas de Plataforma

Recomendação 27

Quando a informação do estado das portas de plataforma não é recebida, o equipamento CBTC de Via deve se recuperar desta falha, reenviando o comando de abertura / fechamento, acionando um alarme em um posto operacional e não autorizando a movimentação de saída (caso exista trem parado na plataforma) ou de chegada (caso não haja trem parado na plataforma).

Esta ação se faz necessária principalmente para sistemas “driverless”.

Recomendação 28

Quando a informação do estado das portas da plataforma está completa, mas incorreta o equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo, através de CRC's). Nesta situação deve:

- Com trem na plataforma:

O equipamento CBTC de Via deve recuperar-se desta falha, reenviando o comando de abertura/fechamento, e permanecendo a falha acionar um alarme em um posto operacional e não autorizar a movimentação do trem.

- Sem trem na plataforma:

O Sistema CBTC não deve permitir a aproximação de trem na plataforma e acionar um alarme em um posto operacional, pois pode existir usuário na via.

Recomendação 29

Quando a informação do estado das portas do trem é recebida adiantada em relação a uma referência temporal esperada pelo equipamento CBTC de via, o equipamento CBTC de via não tratará sinais recebidos antes de um tempo mínimo pré-definido de execução do comando solicitado e também não irá autorizar a movimentação do trem antes deste tempo.

Observação:

Esta ação pressupõe que a informação de estado de porta é constantemente enviada).

- e) Função: Informação de Incêndio recebida do Sistema de Detecção de Incêndio.

Recomendação 30

Em relação a situações de incêndio, as ações do CBTC de via são totalmente dependentes do recebimento correto da informação do Sistema de Detecção de Incêndio, para tomar ações de parada ou não dos trens, dependendo do foco do incêndio e do posicionamento dos trens na região.

Esta é uma função de extrema importância, principalmente em Sistemas “Driverless”. No mínimo, o Sistema de Detecção de Incêndio deve ser Vital, ser submetido a Análise de Segurança e possuir uma comunicação Confiável e Segura com o CBTC de via (protocolos de comunicação, canais duplicados, CRC’s, etc).

Recomendação 31

Uma vez garantida a Segurança da informação recebida do Sistema de Detecção de Incêndio, o CBTC de via irá tomar uma ação Segura para cada situação específica do foco de incêndio bem como do posicionamento dos trens, áreas de evacuação de usuários e etc.

Faz-se, portanto necessário o desenvolvimento de um projeto Integrado da Obra Civil, do Sistema de Detecção de Incêndio, do CBTC e bem como da aprovação do Corpo de Bombeiros.

Recomendação 32

Quando a informação de incêndio não é recebida, o Sistema CBTC de via deve recuperar-se desta falha através do monitoramento de falhas do canal de comunicação. E em caso de falha no canal, o CBTC deve gerar um alarme nos postos operacionais.

Recomendação 33

Quando a informação de incêndio está incompleta, o equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação, informar o recebimento incompleto da mensagem ao Sistema de Detecção de Incêndio, e deve gerar um alarme nos postos operacionais.

- f) Função: Informação de Trilho Partido, recebida do Sistema de Detecção de Trilho Partido.

Recomendação 34

Quando a informação de trilho partido não é recebida, o Sistema deve recuperar-se desta falha através do monitoramento de falhas do canal de comunicação. E em caso de falha no canal, o CBTC deve gerar um alarme nos postos operacionais e permanecendo a falha por período pré-determinado, deve enviar um comando restritivo. Obs: Neste caso não é tomada nenhuma ação restritiva imediata pelo CBTC, porque ele somente consegue identificar que houve falha no canal de comunicação, ou seja deixou de se comunicar com o Sistema de trilho partido, por este motivo somente é imposta uma restrição após um tempo pré-determinado.

Recomendação 35

Quando a informação de trilho partido está incompleta, o equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação, e permanecendo a falha deve enviar um comando restritivo.

Observação:

Neste caso não é tomada nenhuma ação restritiva imediata pelo CBTC, porque ele somente consegue identificar que houve falha no canal de comunicação, ou seja, deixou de se comunicar com o Sistema de trilho

partido, por este motivo somente é imposta uma restrição após um tempo pré-determinado.

g) Função: Posição das Máquinas de Chaves

Recomendação 36

Quando a posição das MCH's não é atualizada, o equipamento CBTC de via deve recuperar-se desta falha impondo condições restritivas, de forma a evitar descarrilamentos e colisões.

Recomendação 37

Quando a posição das MCH's é recebida a uma taxa superior ou inferior a esperada, o equipamento CBTC só irá considerar sinais recebidos na sua janela de tempo e caso receba a posição a uma taxa superior ou inferior a esperada, deverá impor condições restritivas, de forma a evitar descarrilamentos e colisões. Esta condição não se aplica no caso de uma comunicação vital através de "contato seco", relês E/S digital.

Recomendação 38

Quando a posição das MCH's é recebida de forma incompleta, o equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação e impor condições restritivas, de forma a evitar descarrilamentos e colisões. Esta condição não se aplica no caso de uma comunicação vital através de "contato seco", relês e E/S digital.

Recomendação 39

Quando a posição das MCH's é recebida de forma completa porém incorreta, o equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo através de CRC's), e impor condições restritivas, de forma a evitar descarrilamentos e colisões. Esta condição não se aplica no caso de uma comunicação vital através de "contato seco", relês e E/S digital.

h) Função: Comandos Restritivos do CCO

Recomendação 40

Quando o comando restritivo vindo do CCO é recebido de forma incompleta, o equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação, informar o não recebimento da restrição ao CCO.

Observação:

Por não saber qual é o comando restritivo desejado, o CBTC neste caso não toma nenhuma ação mais restritiva.

Recomendação 41

Quando o comando restritivo é recebido de forma completa, mas incorreta, o equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo através de CRC's) e informar o não recebimento da restrição ao CCO.

Observação:

Por não saber qual é o comando restritivo desejado, o CBTC neste caso não toma nenhuma ação mais restritiva.

i) Função: Velocidade do Trem

Para algumas aplicações, o CBTC de Via, além da posição dos trens, também recebe a informação de velocidade.

Recomendação 42

Quando a velocidade do trem não é atualizada, o equipamento CBTC de Via deve recuperar-se desta falha, restringindo a Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.

Recomendação 43

O equipamento CBTC de via só irá considerar sinais recebidos na sua janela de tempo e caso receba a velocidade a uma taxa superior ou inferior a esperada deverá recuperar-se desta falha, restringindo a Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.

Recomendação 44

Quando a velocidade do trem é recebida de forma incompleta, o equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação, e restringir a Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.

Recomendação 45

Quando a velocidade do trem é recebida de forma completa porém incorreta, o equipamento CBTC de Via deve verificar esta falha através de diagnóstico no protocolo de comunicação (por exemplo, CRC's), e restringir Autorização Limite de Movimento do trem envolvido e de seu antecessor.

7.2 Recomendações obtidas pela Árvore de Falhas

7.2.1 CBTC de Bordo

Recomendação 46

Deverá ser comprovado que em relação ao atendimento da Autorização Limite de Movimento ou Restrição Imposta, o Sistema CBTC de Bordo é seguro em relação a:

- a) Cálculo Incorreto da Posição;
- b) Erro no Mapa da Via ("grade", velocidade Limite Civil);
- c) Tempos de reação e atrasos dos Sistemas (CBTC de bordo, Freio e Propulsão);
- d) Imprecisão na Velocidade medida;
- e) Falhas do Sistema de Freio;
- f) Taxa de Aceleração do Sistema Propulsão maior que a projetada para o CBTC.

Observações:

Alguns Sistemas para suprir o erro de imprecisão na velocidade medida, utilizam de ACELERÔMETROS para a comparação da velocidade dos tacômetros, através da derivada da leitura de aceleração.

Em atendimento a IEEE 1474, ANEXO C referente aos PARÂMETROS TÍPICO CBTC, este Sistema deverá comprovar o atendimento à:

- Número máximo de trens que podem ser controlados por uma única Zona de Controle (CBTC de Via): 10 a 40 trens
- Resolução na medida de localização do trem (utilizada para estabelecer a Autorização Limite de Movimento com o propósito de ATP): +/- 0,25 até +/- 6,25 metros.

- Erro máximo admitido na medida de localização do trem (sistema não degradado) para propósitos de ATP: +/- 5 a +/- 10 metros.
- Resolução na medição da velocidade do trem para propósito de ATP: +/- 0,5 até 2 Km/h.
- Erro máximo admitido na medição de velocidade do trem para propósito de ATP: +/- 3 km/h.
- Resolução dos comandos de velocidade do trem: 0,5 até 5Km/h.

Recomendação 47

Deverá ser comprovado que em relação ao Cálculo da Posição do Trem, o Sistema CBTC de Bordo é tolerante a:

- a) Falhas de Balisas;
- b) Falha de Comunicação;
- c) Falha de Tacômetro;
- d) Ajustes errados de diâmetro das rodas do trem;
- e) Deslizamentos/patinação das rodas do trem.

Observações:

Alguns Sistemas para suprir os erros relativos a ajustes do diâmetro das rodas e deslizamentos/patinação das rodas utilizam TACÔMETROS com DOPPLER ou ACELERÔMETROS.

Estes equipamentos, por sua vez, deverão ter tolerância à falhas comprovadas.

Em atendimento a IEEE 1474, ANEXO C, referente aos PARÂMETROS TÍPICO CBTC, este Sistema deverá também atender à:

- Resolução na medida de localização do trem (utilizada para estabelecer a Autorização Limite de Movimento com o propósito de ATP): +/- 0,25 até +/- 6,25 metros.
- Resolução na medição da velocidade do trem para propósito de ATP: +/- 0,5 até 2 Km/h.

7.2.2 CBTC de Via

A partir das funções identificadas, observou-se que para o CBTC de Via da arquitetura Típica 1, por se tratar de um Sistema que recebe e trata sinais de

vários outros Sistemas, os pontos vitais destas funções já foram tratados na aplicação da técnica HAZOP.

Para as falhas internas ao equipamento CBTC de Via, onde se aplicaria a técnica de Árvore de Falhas, percebeu-se que por se tratar de um Sistema Vital e com redundâncias, as falhas estariam mais relacionadas a cálculos errados e outras funções do sistema, que são específicas da arquitetura de cada fornecedor.

Cabe, portanto, como recomendação para este ítem, a comprovação dos requisitos Funcionais e de Segurança da norma IEEE-1474 relativos ao CBTC de Via.

7.3 Recomendações Complementares

Estas recomendações foram obtidas, como resultado das reuniões com alguns fornecedores, da experiência do grupo e da análise das arquiteturas apresentadas.

- a) Função: Restabelecimento após o retorno de uma queda do Sistema:
Recomendação 48

Esta situação está muito relacionada ao tipo de arquitetura adotada pelo fornecedor.

Conforme visto anteriormente, existem sistemas onde toda informação de posição, é obtida através de sinais trocados, ora por balisas, por tacômetros, acelerômetros ou pela combinação destes três elementos. Em outros casos, apenas com a triangulação e cálculo de transmissão via rádio é garantido o posicionamento preciso dos trens.

Como esta função depende da arquitetura de cada fornecedor, é necessário que haja uma comprovação do restabelecimento Seguro do Sistema, de maneira a não permitir a ocorrência dos perigos descritos neste trabalho.

- b) Função: Transposição entre as Zonas de Controle
Recomendação 49

Semelhantemente ao caso anterior, esta questão foi superficialmente citada pelos fornecedores pesquisados e também depende do projeto de cada um desenvolve.

Sendo assim, também recomendamos que esta funcionalidade (operação normal e com falhas, por exemplo, a queda de uma das zonas de controle) seja comprovada de maneira a não permitir a ocorrência dos perigos descritos neste trabalho.

- c) Função: Comprovação da correta configuração do Mapa da Via no CBTC
Recomendação 50

Diferentemente do Sistema de Bloco Fixo, onde são executados testes dinâmicos com trens parando antes de ocupações simuladas a frente e por se tratar de uma nova funcionalidade do CBTC, recomendamos que esta funcionalidade seja comprovada de forma a se atingir os mesmos níveis de Segurança obtidos com Bloco Fixo, de acordo com a Norma CENELEC EN 50126, nível de integridade SIL 4, de maneira a não permitir a ocorrência dos perigos descritos neste trabalho.

8 CONCLUSÕES

O Metrô de São Paulo pretende implantar nas futuras linhas e na modernização das Linhas 1,2 e 3 uma nova tecnologia de Sinalização “Bloco Móvel”, conhecida mundialmente pela sigla CBTC (Communication Based Train Control), que se utiliza de rede de comunicação de rádio para o controle e localização dos Trens na via.

Atualmente todo Sistema de Sinalização do Metrô possui tecnologia de “Bloco Fixo”, utilizada vários anos no transporte de passageiros sobre trilhos no Brasil, o que possibilitou um amplo conhecimento técnico sobre suas características funcionais, desempenho e segurança, permitindo ao Metrô um domínio de como especificar, testar e comissionar sistemas com esta tecnologia.

Por se tratar de uma inovação tecnológica sem precedentes dentro do nosso país, até hoje não temos praticamente nenhuma experiência com esta nova tecnologia.

Diante deste cenário, a proposta deste trabalho é a elaboração de recomendações que possibilitem ao Metrô testar e comissionar um sistema de “Bloco Móvel”.

Durante o desenvolvimento do trabalho, percebeu-se que das várias arquiteturas pesquisadas no mercado, diversas características são semelhantes, o que permitiu a elaboração de duas Arquiteturas Típicas, e dentre elas atualmente somente a Arquitetura Típica I está sendo comercializada.

Outro fato relevante é que, embora haja praticamente uma única arquitetura, os sistemas existentes no mercado atualmente não são interoperáveis, ou seja, os sistemas não se comunicam entre si.

As recomendações foram geradas, utilizando como referência a Arquitetura Típica I, o que possibilita sua aplicação para as diversas arquiteturas existentes hoje no mercado, embora dependendo do projeto de cada fornecedor algumas recomendações podem não ser diretamente aplicáveis, porém deve ser comprovado como é garantida a sua segurança.

Estas recomendações podem ser comprovadas de diversas maneiras, através de testes, análises do fornecedor, simulações, laudos, análises de segurança independente, etc. O nível de exigência destas comprovações depende da “Cultura de Segurança” do contratante do Sistema.

8.1 Futuros trabalhos

Este trabalho representa um ponto de partida para o conhecimento mais detalhado de um Sistema de Sinalização baseado em tecnologia “Bloco Móvel”, e sendo assim necessita continuidade.

Muitos aspectos precisam ser estudados mais detalhadamente. Desta forma, recomenda-se para futuros trabalhos:

- a) Estudo da questão da interoperabilidade de Sistemas de “Bloco Móvel”;
- b) Análise comparativa das recomendações encontradas, com as recomendações atualmente praticadas no Sistema de “Bloco Fixo”, verificando eventuais aspectos críticos comuns que são independentes da tecnologia adotada.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] – Camargo, João Batista (2006) – Análise Preliminar de Risco do Sistema de Sinalização CBTC
- [2] – Camargo, João Batista – Apostila sobre Confiabilidade, Disponibilidade e Segurança de Sistemas Computacionais – FDTE 542000RT003
- [3] - Drafts standard IEEE 1474-1 D.9
- [4] - <http://www.tsdr.org>
- [5] - Materiais dos Congressos sobre CBTC realizados em Washington (2003 e 2005)
- [6] - <http://www.siemens.com>
- [7] - <http://www.trasnspor.alstom.com>
- [8] - <http://www1.alcatel-lucent.com/tas/>
- [9] - <http://www.transport.bombardier.com>
- [10] - <http://www.getransportation.com>
- [11] – Timoteo, Carlos A. Freitas – Automação Total Um novo Cenário para Sistemas de Sinalização.
- [12] – Ragognette, Fernando de Barros - Soluções e Inovações na Modernização de Sistemas de Sinalização Metroferroviárias.
- [13] – Aloise, José e Borloni, Rubens (2004) – Segurança na Determinação da Posição no Controle de Trens Baseado em Comunicação – Monografia USP.
- [14] - Freitas, José Henrique Zaccardi de (1998) A evolução tecnológica da CMS e o Estado da Arte de Sistemas de Sinalização Baseados em Comunicação.
- [15] - Apresentações SIEMENS - Modernisation of the New York Metro System: The Canarsie Line project.
- [16] - G. Faria - Apresentação - URBALIS Solução ASLTOM para CSMP Linha 4.
- [17] - Apresentação – SelTrac CBTC Technology
- [18] - Apresentação – Bombardier CITYFLO*650
- [19] - Apresentação – GE Transportation Systems the Advanced Automatic train Control (aattc) system.
- [20] – Felix Redmill – Livro HAZOP (Hazard and Operability Analysis)