

Identificação	IT.SIN.061
Designação	Requisitos de Fiabilidade dos sistemas de controlo-comando e sinalização
Versão	01
Data	25.09.2008
Ficheiro	It_sin_061.doc
Classificação	EXT

Aprovado pelo Sr. Director de Engenharia e Intervenções Especiais



José Carlos Abrantes dos Santos Clemente

Aprovado pelo Sr. Director Geral de Engenharia e Construção



José de Castro Cunha Alves Monteiro

Índice:

	Pág.
Índice	II
Índice de tabelas e figuras	II
Participantes na elaboração do documento normativo	III
Histórico do Documento	III
1. Introdução	1
1.1. Âmbito	1
1.2. Documentos normativos revogados	1
1.3. Abreviaturas, siglas e símbolos	1
1.4. Documentos de referência	1
2. Aspectos Gerais	2
2.1. Enquadramento	2
2.2. Requisitos Gerais	2
3. Determinação dos níveis das diferentes classes	3
3.1. Critérios de Escolha da Classe de Fiabilidade para Sistemas de Sinalização	3
ANEXO A – Exemplo de Cálculo dos Indicadores de Fiabilidade para Encravamentos instalados numa linha ou corredor	A1

Índice de tabelas e figuras

Nº	Designação	Capítulo	Pág.
Tabela 1	Variação do MTBF dependendo da classe de fiabilidade escolhida e da dimensão da instalação	3	7
Tabela 2	Variação do MTBF de uma linha em função da classe	Anexo A	A3



IT.SIN.061
Requisitos de Fiabilidade dos sistemas de
controlo-comando e sinalização

Versão: 01
Data: 25.09.2008
Ficheiro: It_sin_061.doc
Classificação: EXT

Participantes na elaboração do documento normativo:

Nome	Empresa	Cargo / Órgão
João Alves	REFER	EN-EIE - Electrotecnia - PERTMS
Luís Brazinha	REFER	EN-EIE - Electrotecnia - PERTMS
Vítor Amaral	REFER	EN-EIE - Electrotecnia - PERTMS

Histórico do Documento:

Versão	Descrição	Data
01	Versão Inicial – IT.CCS.002	19.12.2007
01	Renumeração para IT.SIN.061	25.09.2008

1. Introdução

1.1. Âmbito

O presente documento descreve os requisitos de fiabilidade para os encravamentos de Sinalização, sub sistema ERTMS/ETCS e os critérios assumidos.

Os requisitos de fiabilidade são desenvolvidos com base nas categorias de falha RAM, definidas na norma NP EN 50126.

Para cada um dos tipos de falha do Sistema de Encravamento podem ser consideradas duas classes de fiabilidade (elevada ou normal), a que correspondem dois níveis de impacto. A escolha da classe de fiabilidade depende de cada aplicação específica.

1.2. Documentos normativos revogados

O presente revoga o documento IT.CCS.002 - Requisitos de Fiabilidade dos sistemas de controlo-comando e sinalização de 19.12.2007.

1.3. Abreviaturas, siglas e símbolos

MTBF	tempo médio entre falhas
MTBSiF	tempo médio entre falhas significativas
MTBMaF	tempo médio entre falhas maiores
MTBMiF	tempo médio entre falhas menores
RBC	Centro de Bloco por Rádio
LEU	Unidade Electrónica de Via
TCCS	Mesa de Operação do Sistema de Sinalização
ATP	Sistema Automático de Protecção de Comboios
TFM	Controlador de Objectos Exteriores
FMECA	Modos de Avaria e Análise de Efeitos e Consequências

1.4. Documentos de referência

IT.SIN.066 – Normativos dos sistemas de controlo-comando e sinalização

NP EN 50126:2000, – Aplicações Ferroviárias Especificação e demonstração de Fiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança RAMS

Requisitos Qualitativos – Projecto Euro-Interlocking

Requisitos RAM – Grupo de Utilizadores ERTMS/ETCS

2. Aspectos Gerais

2.1. Enquadramento

A abordagem utilizada para o Sistema de encravamento foi efectuada com base no modelo TFM, utilizando como referência oito entradas e saídas de um controlador de objectos.

A dimensão da instalação tem como base o número de sinais e agulhas que controla, podendo ser assumido que outros elementos como circuitos de via e detectores possam estar interligados ao mesmo controlador de objectos que supervisiona um sinal ou agulha.

É assumido para o cálculo dos indicadores de fiabilidade a existência de um controlador de objectos por sinal ou por agulha, podendo nas aplicações específicas existirem várias agulhas e sinais ligados a um controlador de objectos ou diversos controladores de objectos ligados a um sinal ou agulha.

A implicação da escolha do tipo de classe no desempenho esperado da instalação é apresentada no documento anexo A.

O âmbito dos requisitos aplica-se a encravamentos electrónicos e exclui as fontes de alimentação.

Os requisitos RAM do Sistema ERTMS/ETCS (incluindo subsistemas) incluem a apresentação pelo Fornecedor de um Sub Programa para a Fiabilidade, que constitui objecto de verificação pela REFER.

2.2. Requisitos Gerais

Os principais objectivos dos requisitos de fiabilidade são optimizar a utilização da infra-estrutura e os custos do ciclo de vida útil dos sistemas de controlo-comando e sinalização, bem como estabelecer requisitos apropriados para esse sistema que controle uma linha ou um corredor específico.

São consideradas três tipos de falhas: significativa, maior e menor. A classificação é efectuada com base no impacto no número de elementos físicos e no nível crítico destes elementos nas funções lógicas desempenhadas pelo encravamento.

São indicados os seguintes exemplos de cada um dos tipos de falha acima indicado:

- Falha significativa, perturbação que afecta um elevado número de elementos físicos. Exemplos: falhas do equipamento central do encravamento, falha de um data link comum ou da ligação entre o encravamento e o RBC ou TCCS.
- Falha maior, perturbação que afecta um pequeno número de elementos físicos. Exemplos: falha da ligação de um controlador de objecto e um elemento físico (LEU, agulha ou sinal), avaria de elementos que são reflectidos apenas numa secção de via.
- Falha menor, perturbação que não afecta as operações, devido ao elemento afectado possuir redundância.

São definidas para o Sistema de Encravamento duas classes para os requisitos de fiabilidade, normal e elevada. A fiabilidade tem impacto directo na performance operacional das linhas e dos corredores, existindo diferentes tipos de infra-estrutura que requerem requisitos de fiabilidade distintos.

De forma a implementar o subsistema ERTMS/ETCS e sistemas de encravamentos de elevada fiabilidade os fornecedores deverão apresentar sistemas para os quais em modo degradado deverá ser permitida a continuação da operação em baixa capacidade.

O número de sinais e agulhas reflecte a dimensão do Encravamento, sendo esta dimensão proporcional ao número destes elementos, sendo o número de falhas menores e maiores dependentes desta dimensão. No cálculo da fiabilidade é assumido que o hardware permite o número de entradas e saídas = $8 \times (\text{n}^\circ \text{ sinais} + \text{n}^\circ \text{ agulhas})$.

O Tempo médio entre este tipo de falhas é dependente da dimensão do encravamento, sendo o indicador relativo às falhas significativas menos dependente desse factor.

O Sub Programa aplicado aos requisitos de Fiabilidade do Sistema ERTMS/ETCS apresentado pelo fornecedor, deverá ser constituído obrigatoriamente pelos seguintes documentos e pela verificação das acções respectivas:

- Modelação e Estimativa dos Requisitos de Fiabilidade, afectação dos requisitos aos diversos elementos do Sistema,
- Análise FMECA,
- Análise de Fiabilidade do Software e Programa de Verificação e Validação,
- Desenvolvimento do Programa de Teste da Fiabilidade,
- Revisão periódica do Programa RAM na área de Fiabilidade.

A REFER poderá solicitar previamente a demonstração dos métodos utilizados nos documentos acima mencionados bem como de outros entregues pelo Fornecedor, que atestem a capacidade de atingir os requisitos de fiabilidade definidos para uma instalação.

3. Determinação dos níveis das diferentes classes

3.1. Critérios de Escolha da Classe de Fiabilidade para Sistemas de Sinalização

Dependendo da aplicação específica da instalação e do respectivo programa de exploração são considerados os elementos na classe de fiabilidade elevada ou fiabilidade normal.

Os tempos médios entre falhas significativas para cada classe deverão ser pelo menos os indicados:

Classe elevada – 5×10^6 [h] (aproximadamente 600 anos)

Classe média - 10^4 [h] (aproximadamente 1 ano)

Os tempos médios entre falhas maiores para cada classe deverão ser pelo menos os indicados:

Classe elevada – $5 \cdot 10^6$ [h] (aproximadamente 600 anos)

Classe média - $3 \cdot 10^5$ [h] (aproximadamente 30 anos)

Os tempos médios entre falhas menores para cada classe deverão ser pelo menos os indicados:

Classe elevada – 10^5 [h] (aproximadamente 10 anos)

Classe média - $3 \cdot 10^5$ [h] (aproximadamente 30 anos)

O critério que suporta a escolha da classe de fiabilidade de uma instalação é fundamentado na importância do troço/linha e no número de elementos (sinais e agulhas) envolvidos em itinerários principais referentes ao Programa de Exploração.

Poderá uma instalação ser classificada nas seguintes classes:

1. Fiabilidade Elevada se todos os elementos - sinais e agulhas forem considerados críticos
2. Fiabilidade Média se todos os elementos - sinais e agulhas forem considerados não críticos
3. Fiabilidade Mista se existirem elementos – sinais e agulhas de um encravamento, considerados afectos a itinerários ou troços de natureza crítica e de classe fiabilidade normal.

Existindo componentes físicos que estejam incluídos nas duas classes elevada e média é considerada para uma instalação, a classe de fiabilidade mista, conforme indicado no ponto 3 e representado na página 6 pelas fórmulas: MTBSiF, MTBMaF e MTBMiF.

A escolha das classes de fiabilidade para as falhas significativas e maiores influencia o número de falhas menores. A proporção de elementos físicos críticos implica directamente a extensão da aplicação de redundância no sistema, implicando uma diminuição na taxa de falhas significativas e maiores e um aumento do número de falhas menores derivado de um maior número de equipamentos.

São consideradas para o cálculo dos indicadores de fiabilidade as falhas sistemáticas e ocasionais, pois os requisitos estabelecidos são independentes da causa da falha do sistema.

No período prévio à colocação ao serviço deverá o Fornecedor demonstrar matematicamente os valores esperados para as taxas de falhas ocasionais, bem como a aplicação e demonstração dos procedimentos para minimizar as falhas sistemáticas e ocasionais em conformidade com as taxas requeridas. É considerada adequada, a demonstração pelo Fornecedor da utilização de métodos para a redução das falhas sistemáticas.

Após a colocação em serviço da instalação a taxa de falhas sistemáticas e ocasionais deverá ser aferida. O controlo dessas taxas deverá ser factor de aceitação da instalação.

No subsistema ERTMS/ETCS a utilização de redundâncias na arquitectura de uma instalação restringirá a ocorrência de falhas significativas originadas por falhas de um elemento da instalação.

Para este subsistema o fornecedor deverá apresentar uma instalação que cumpra os seguintes requisitos mínimos de fiabilidade para os diversos tipos de falhas:

- MTBSiF – Tempo médio mínimo entre falhas significativas do subsistema ERTMS/ETCS – equipamento de infra-estrutura central - $3,5 \cdot 10^8$ horas;
- MTBSiF – Tempo médio mínimo entre falhas significativas do subsistema ERTMS/ETCS – equipamento de infra-estrutura distribuído - $1,2 \cdot 10^5$ horas;
- MTBMaF – Tempo médio mínimo entre falhas maiores do subsistema ERTMS/ETCS – equipamento de infra-estrutura central - $4 \cdot 10^7$ horas;
- MTBMaF – Tempo médio mínimo entre falhas maiores do subsistema ERTMS/ETCS – equipamento de infra-estrutura distribuído - $1,4 \cdot 10^4$ horas;
- MTBMiF – Tempo médio mínimo entre falhas menores do subsistema ERTMS/ETCS – equipamento de infra-estrutura central - $1 \cdot 10^5$ horas;
- MTBMiF – Tempo médio mínimo entre falhas menores do subsistema ERTMS/ETCS – equipamento de infra-estrutura distribuído - $3,6 \cdot 10^2$ horas.

Com base nos critérios prévios assumidos para o cálculo da fiabilidade do sistema de encravamento são apresentadas nas expressões seguintes os respectivos cálculos:

Cálculo do Tempo médio esperado entre falhas significativas: $MTBSiF = 1 / (1/SiF)$

SiF – tempo médio entre falhas significativas

Cálculo do Tempo médio esperado entre falhas maiores para o sistema:

$MTBMaF = 1 / ((SH+PH)/MaH) + (SN+PN)/MaN)$

SH – nº de sinais considerados como elementos críticos

PH – nº de agulhas consideradas como elementos críticos

MaH - Tempo médio entre falhas Maiores para a escolha da classe de fiabilidade elevada
 $5 \cdot 10^6$ [h]

SN – nº de sinais considerados como elementos não críticos

PN – nº de agulhas consideradas como elementos não críticos

MaN - Tempo médio entre falhas Maiores para a escolha da classe de fiabilidade normal
 $3 \cdot 10^5$ [h]

Cálculo do Tempo médio esperado entre falhas maiores para o sistema:

$$MTB\text{MiF} = 1 / ((SH + PH) / \text{MiH}) + (SN + PN) / \text{MiN})$$

SH – nº de sinais considerados como elementos críticos

PH – nº de agulhas consideradas como elementos críticos

MiH – Tempo médio entre falhas Maiores para a escolha da classe de fiabilidade elevada - 10E5[h]

SN – nº de sinais considerados como elementos não críticos

PN – nº de agulhas consideradas como elementos não críticos

MiN - Tempo médio entre falhas Maiores para a escolha da classe de fiabilidade normal - 3*10E5[h]

No item seguinte é apresentada a influência do número de elementos nos indicadores tempos médios entre falhas significativas, maiores e menores.

Foi considerado para os cálculos da Tabela 1, um encravamento de:

4. Pequena dimensão que controla 16 sinais e 8 agulhas,
5. Média dimensão com 120 sinais e 135 agulhas,
6. Grande dimensão com 350 sinais e 400 agulhas.

	Elementos Críticos – 100 % Classe de Fiabilidade Elevada			Elementos Críticos – 0 % Classe de Fiabilidade Média		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.
MTBSiF [h]	5,00E+06	5,00E+06	5,00E+06	1,00E+04	1,00E+04	1,00E+04
MTBMaF[h]	2,08E+05	1,96E+04	6,67E+03	1,25E+04	1,18E+03	4,00E+02
MTBMiF[h]	4,17E+03	3,92E+02	1,33E+02	1,25E+04	1,18E+03	4,00E+02

Tabela 1 – Variação do MTBF dependendo da classe de fiabilidade escolhida e da dimensão da instalação

Sendo estes indicadores apenas para encravamentos é estabelecida uma metodologia de cálculo do indicador aplicado a todo o sistema de sinalização que é indicado no anexo A.

**ANEXO A – Exemplo de Cálculo dos Indicadores de Fiabilidade para
Encravamentos instalados numa linha ou corredor**

Podem ser estabelecidos os indicadores referentes a uma linha ou corredor, a partir dos indicadores MTBF por encravamento.

O cálculo estimado do número de falhas médio aplica-se ao sistema de sinalização excluindo o sistema ERTMS/ETCS e o TCCS.

Conforme é indicado no exemplo seguinte é efectuado o cálculo para uma linha com 2 encravamentos grandes (350 sinais e 400 agulhas), 8 encravamentos médios (120 sinais e 135 agulhas) e 20 encravamentos pequenos (16 sinais e 8 agulhas).

Deverão ser assumidos três cenários, cenário A – toda a linha está equipada com elementos considerados críticos com classe elevada de fiabilidade, cenário B – a linha está equipada com metade dos elementos considerados críticos de classe de fiabilidade elevada e a restante parte com elementos de classe de fiabilidade normal, cenário C – todos os elementos instalados na linha têm classe de fiabilidade normal.

MTBF para (1 encravamento)	Tempo médio entre falhas significativas [h]			Tempo médio entre falhas maiores [h]			Tempo médio entre falhas menores [h]		
	Significativa	Maior	Normal	Significativa	Maior	Normal	Significativa	Maior	Normal
Encravamento Grande	5,00E+06	5,00E+06	1,00E+04	6,67E+03	7,55E+02	4,00E+02	1,33E+02	2,00E+02	4,00E+02
Encravamento Médio	5,00E+06	5,00E+06	1,00E+04	1,96E+04	2,23E+03	1,18E+03	3,92E+02	5,87E+02	1,18E+03
Encravamento Pequeno	5,00E+06	5,00E+06	1,00E+04	2,08E+05	2,36E+04	1,25E+04	4,17E+03	6,25E+03	1,25E+04
MTBF calculado para uma linha ou corredor	Tempo médio entre falhas significativas [anos]			Tempo médio entre falhas maiores [anos]			Tempo médio entre falhas menores [anos]		
Elevada	19,03			0,14			0,0028		
Mista	19,03			0,02			0,0043		
Normal	0,04			0,01			0,0085		
	R-Classe Elevada			R-Classe Mista			R-Classe Normal		
	Significativa	Maior	Menor	Significativa	Maior	Menor	Significativa	Maior	Menor
Número de objectos (agulhas e sinais) na linha ou corredor	4020			4020			4020		
MTBF em anos para linha ou corredor	19,03	0,14	0,0028	19,03	0,02	0,0043	0,04	0,01	0,0085
Número de falhas devido a sistemas de encravamento, por corredor e ano	0,05	7,04	352,15	0,05	62,10	235,00	26,28	117,38	117,38

Tabela 2 – Variação do MTBF de uma linha em função da classe