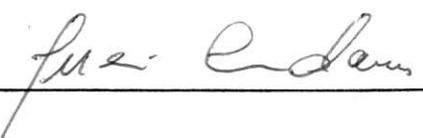


1. Publicação nº <i>INPE-3759-NTE/249</i>	2. Versão	3. Data <i>Janeiro 1986</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DTL/DAF</i>	Programa <i>TRANSP</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>CONFIABILIDADE COLETA DE DADOS SATÉLITE</i>			
7. C.D.U.: <i>629.7.086:629.783</i>			
8. Título <i>ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DO SUBSISTEMA TRANSPONDER PCD</i>		10. Páginas: <i>32</i>	
		11. Última página: <i>23</i>	
9. Autoria <i>Lucio B.T. Cividanés</i>		12. Revisada por  <i>Eduardo A.P. Tude</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  <i>Marco Antônio Raupp Diretor Geral</i>	
14. Resumo/Notas <i>O subsistema Transponder PCD, que é a carga útil do Satélite de Coleta de Dados, recebe os sinais das Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) em 401 MHz e os retransmite para a estação terrena na faixa de 2,2 GHz. Este relatório apresenta a previsão de confiabilidade para este sub sistema, pelo método de contagem de partes, e analisa comparativamente três configurações possíveis para o Transponder PCD as quais se distinguem pelo diferente grau de redundância que cada uma apresenta.</i>			
15. Observações			

ABSTRACT

The DCP Transponder Subsystem, which is the payload of the Data Collecting Satellite, receives the signals from the Data Collecting Platforms (DCP) at 401 MHz and transmit them to the earth station in the 2.2 GHz band. This report presents the reliability prediction for this subsystem using the parts count method, and comparatively analyzes three possible configurations for the DCP Transponder which differ among themselves by their degrees of redundancy.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vii
1. <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2. <u>DEFINIÇÕES BÁSICAS EM CONFIABILIDADE</u>	2
2.1 - Introdução	2
2.2 - Confiabilidade de sistemas	3
3. <u>PREVISÃO DE CONFIABILIDADE DO TRANSPONDER PCD</u>	5
3.1 - Três configurações possíveis	5
3.2 - Determinação das taxas de falhas	8
3.2.1 - Oscilador	9
3.2.2 - Receptor	10
3.2.3 - CAG/FI	11
3.2.4 - Modulador	12
3.2.5 - Transmissor	13
3.3 - Cálculo da confiabilidade de cada circuito	14
3.4 - Análise comparativa das três configurações	15
4. <u>COMENTÁRIOS FINAIS</u>	21
BIBLIOGRAFIA	23

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Diagrama lógico de confiabilidade de um sistema em série	4
2 - Diagrama lógico de confiabilidade de um sistema com redundância paralela	5
3 - Esquema 1: Configuração sem redundância	6
4 - Esquema 2: Configuração com 2 cadeias em paralelo	6
5 - Esquema 3: Configuração em paralelo com a possibilidade de cada oscilador operar qualquer uma das cadeias	7
6 - Diagrama lógico de confiabilidade para o Esquema 1 (configuração sem redundância)	15
7 - Diagrama lógico de confiabilidade para o Esquema 2 (configuração com duas cadeias em paralelo)	17
8 - Diagrama de confiabilidade para o Esquema 3 (configuração em paralelo com a possibilidade de cada oscilador local operar com qualquer uma das cadeias)	19

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1 - Componentes do oscilador	9
2 - Componentes do receptor	10
3 - Componentes do CAG/FI	11
4 - Componentes do modulador de fase	12
5 - Componentes do transmissor	13
6 - Confiabilidade dos circuitos do transponder PCD	14
7 - Comparação entre as três configurações (considerando as chaves com $\lambda = 5 \times 10^{-9}$ e as híbridas com $\lambda = 1 \times 10^{-9}$)	21

1. INTRODUÇÃO

O objetivo do primeiro satélite brasileiro será o de retransmitir para a terra os sinais emitidos por pequenas estações transmissoras de dados meteorológicos, denominadas Plataformas de Coleta de Dados (PCDs), as quais estarão distribuídas por todo o território brasileiro. As PCDs transmitem para o satélite sinais com frequências próximas de 401 MHz. Após a conversão a bordo, o satélite retransmite estes sinais para a estação terrena na faixa de 2,2 GHz.

O subsistema que recebe os sinais das PCDs e os retransmite para a terra denomina-se Transponder PCD, sendo portanto a carga útil do satélite. O Transponder PCD é composto basicamente pelos seguintes circuitos: receptor, oscilador, CAG/FI, modulador de fase e transmissor.

Um satélite, que em geral é um sistema não-reparável após a sua colocação em órbita, deve portanto possuir confiabilidade elevada. Para atingir este objetivo uma das técnicas usualmente empregadas é a redundância.

Neste relatório apresenta-se a previsão de confiabilidade para três configurações possíveis do Transponder PCD. A primeira configuração analisada é a que não emprega nenhuma redundância; a segunda apresenta redundância paralela de duas cadeias: receptor, oscilador, CAG/FI e modulador de fase e ainda redundância do transmissor; finalmente, a terceira apresenta ainda a redundância do oscilador local.

Após a determinação das taxas de falhas pelo método de contagem de partes, calcula-se a confiabilidade de cada circuito e faz-se então uma análise comparativa das três configurações em estudo.

2. DEFINIÇÕES BÁSICAS EM CONFIABILIDADE

2.1 - INTRODUÇÃO

A confiabilidade pode ser definida como a probabilidade de que um sistema ou componente funcione satisfatoriamente por um dado período de tempo sob condições de operação previamente estabelecidas. Pela definição acima, observa-se que deve ficar bem estabelecido o que se entende por *desempenho satisfatório* e também em quais condições o sistema (ou componente) deve operar.

Se o sistema tem uma função densidade de probabilidade de falhas $f(t)$ e uma função distribuição de falhas $F(t)$, então (veja-se Shooman, 1968 ou Polovko, 1968):

$$F(t) = \int_0^t f(x)dx , \quad (1)$$

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(x)dx = \int_t^{\infty} f(x)dx . \quad (2)$$

A taxa de falha $\lambda(t)$ é definida por:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{(-1)}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} . \quad (3)$$

Da equação anterior tem-se que:

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(x)dx \right] . \quad (4)$$

Se a taxa de falha $\lambda(t)$ for constante, a Equação 4 fica:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (5)$$

que é a conhecida fórmula exponencial para um sistema ou componente com taxa de falha constante. Neste caso, a função densidade de probabilidade de falha é dada por:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} . \quad (6)$$

A medida mais usual da duração de vida de um sistema é o tempo médio entre falhas (MTBF), que é dado por:

$$MTBF = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt . \quad (7)$$

Para um componente com taxa de falha constante λ , obtém-se:

$$MTBF = 1/\lambda . \quad (8)$$

2.2 - CONFIABILIDADE DE SISTEMAS

Um sistema qualquer é, em geral, constituído por muitos componentes ou subsistemas. Quando não há redundância, se um componente falha todo o sistema fica fora de operação, e diz-se que o sistema está em série. Neste caso, o diagrama lógico de confiabilidade é o que é apresentado na Figura 1. A confiabilidade do sistema é igual ao produto das confiabilidades dos componentes (se as falhas dos componentes forem independentes), isto é:

$$R(t) = R_1(t) R_2(t) \dots R_n(t) . \quad (9)$$

Se todos os componentes têm taxa de falha constante, a confiabilidade do sistema é dada por:

$$R(t) = e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} \cdot \dots \cdot e^{-\lambda_n t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t} . \quad (10)$$

Dessa forma, a taxa de falhas de um sistema série é igual à soma das taxas de falhas de seus componentes.

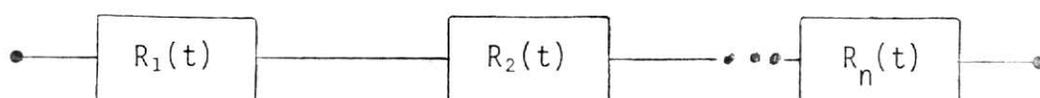


Fig. 1 - Diagrama lógico de confiabilidade de um sistema em série.

Como se pode observar pela Equação 9, a confiabilidade do sistema série é menor que a confiabilidade de qualquer um de seus componentes. Quanto se precisa de confiabilidade elevada, é comum utilizar redundância que, no tipo normalmente designado por redundância paralela, os componentes são conectados de forma que o sistema só falha quando todos os componentes estiverem falhados; o diagrama lógico de confiabilidade neste caso é o apresentado na Figura 2, onde todos os componentes estão em paralelo. A confiabilidade do sistema é então:

$$R(t) = 1 - [1 - R_1(t)] [1 - R_2(t)] \dots [1 - R_n(t)] . \quad (11)$$

Se as confiabilidades forem todas iguais a $R_1(t)$, a confiabilidade do sistema é:

$$R(t) = 1 - [1 - R_1(t)]^n . \quad (12)$$

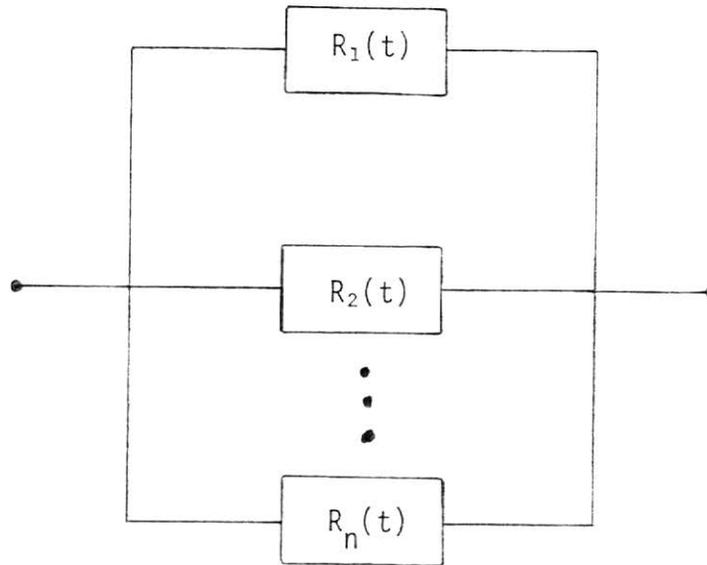


Fig. 2 - Diagrama lógico de confiabilidade de um sistema com redundância paralela.

3. PREVISÃO DE CONFIABILIDADE DO TRANSPONDER PCD

3.1 - TRÊS CONFIGURAÇÕES POSSÍVEIS

Este subsistema deve receber os sinais em 401 MHz, provenientes das Plataformas de Coleta de Dados (PCDs), e retransmiti-los para a estação terrena modulando em fase uma portadora em 2267,520 MHz.

Nas Figuras 3, 4 e 5 apresentam-se três possíveis configurações para este subsistema. A Figura 3 mostra a configuração sem redundância nenhuma, enquanto as Figuras 4 e 5 apresentam diferentes graus de redundância. Pode-se observar que na Figura 5 cada oscilador pode excitar qualquer um dos ramos (RECEPTOR, CAG/FI, MOD FASE) que estão em paralelo, alcançando-se desta forma um elevado grau de redundância. Entretanto, na configuração da Figura 5, deve-se ressaltar que não é possível utilizar uma saída de um oscilador e as outras duas do outro. Isso é devido ao fato de que como não existem chaves nos pontos "A", "B" e "C" (Figura 5) e os osciladores não são coerentes, só um dos osciladores fica ligado em um dado instante. Esta característica é importante

para a determinação do diagrama lógico de confiabilidade para esta configuração.

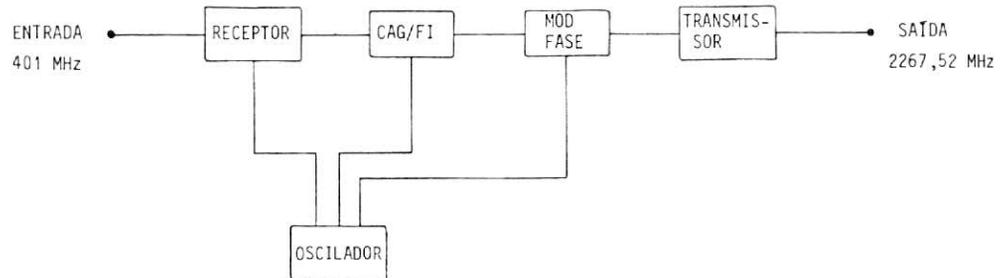


Fig. 3 - Esquema 1: Configuração sem redundância.

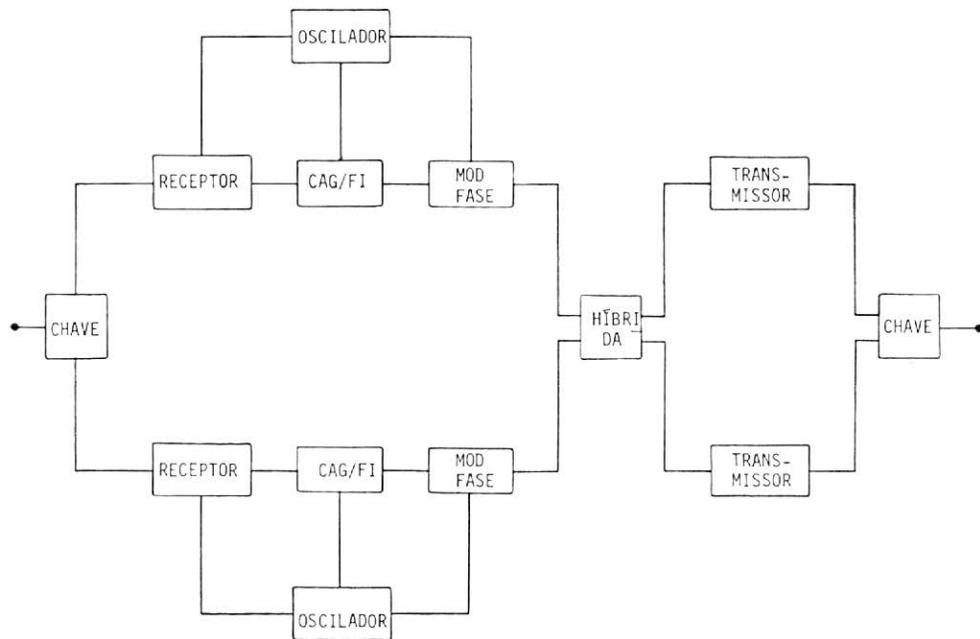


Fig. 4 - Esquema 2: Configuração com 2 cadeias em paralelo.

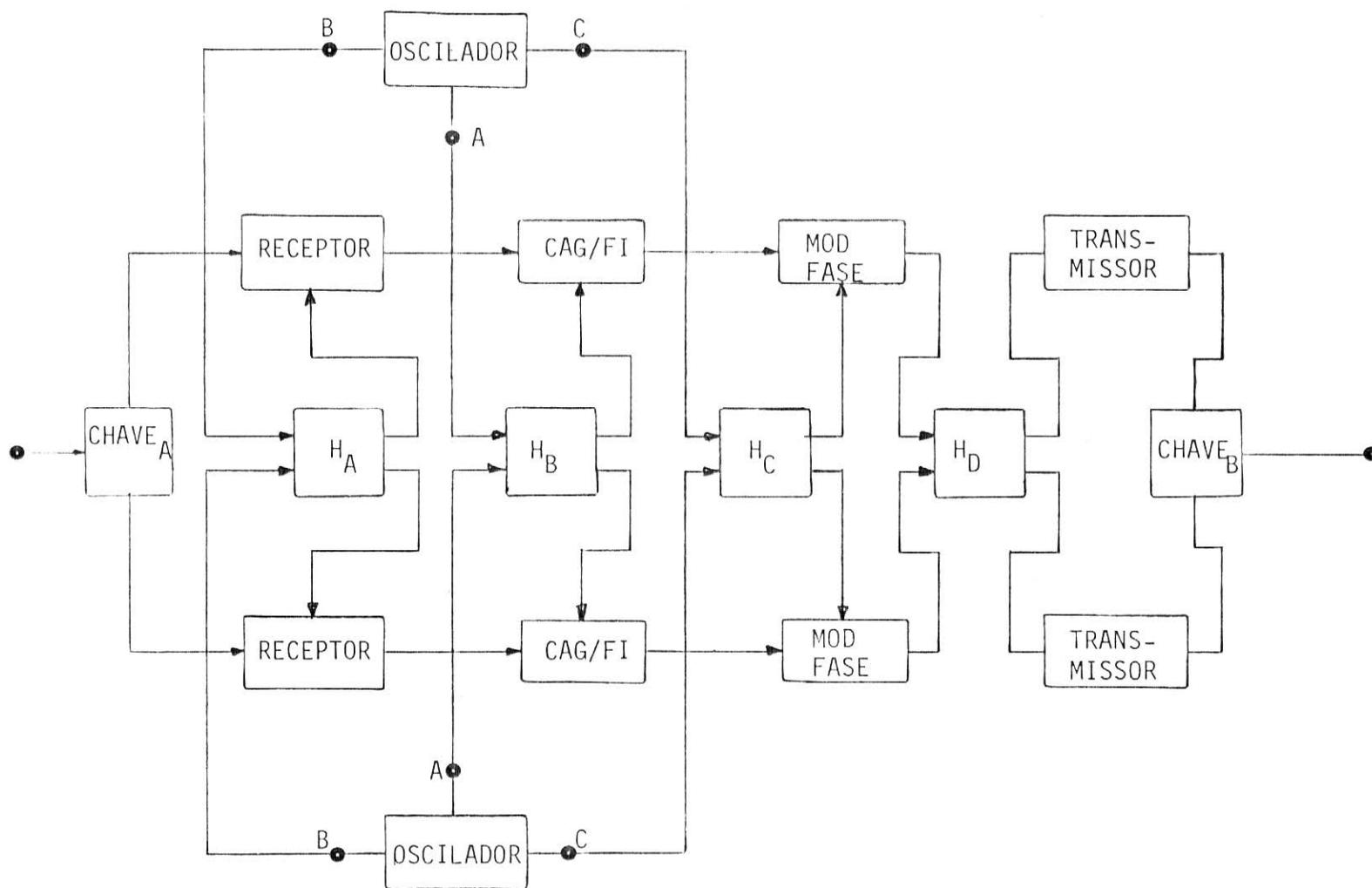


Fig. 5 - Esquema 3: Configuração em paralelo com a possibilidade de cada oscilador operar qualquer uma das cadeias.

3.2 - DETERMINAÇÃO DAS TAXAS DE FALHAS

A seguir apresenta-se o cálculo das taxas de falhas de cada um dos blocos que compõem o Transponder PCD (Figura 1) pelo método de contagem de partes. No cálculo a seguir estão excluídas as falhas por mortalidade infantil (as quais podem ser eliminadas por um adequado programa de testes) e as falhas por envelhecimento (supõe-se que a vida útil de cada componente que compõe o subsistema é muito maior do que o tempo previsto para a missão). Além disso, considera-se um ano com 8766 horas.

Para a determinação da taxa de falhas dos vários componentes dos circuitos foi utilizada a norma MIL-HDBK-217D (1982) considerando o satélite em órbita.

A taxa de falha λ de cada um dos blocos é então:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_G \pi_Q)_i , \quad (13)$$

sendo

N_i = quantidade do componente "i";

λ_G = taxa de falha genérica para o componente "i" (falhas/10⁶h);

π_Q = fator de qualidade para o componente "i".

Para certos componentes de microondas para os quais a MIL-HDBK-217D não apresenta a taxa de falha, utilizaram-se então dados disponíveis das firmas RCA (Estados Unidos) e SPAR AEROSPACE (Canadá).

3.2.1 - OSCILADOR

A Tabela 1 apresenta o número, o fator de qualidade e a taxa de falha genérica para cada um dos componentes usados no oscilador.

TABELA 1

COMPONENTES DO OSCILADOR

DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES	N_i	π_Q	λ_G $f/10^6h$	FONTE
Resistor de Composição	54	0,03 (S)	0,00054	MIL-HDBK-217D
Capacitor Cerâmico	79	0,03 (S)	0,0029	MIL-HDBK-217D
Indutor de RF	39	1 (MIL-SPEC)	0,0016	MIL-HDBK-217D
Transistor de RF	06	0,25 (JAN TXV)	$\pi_Q \lambda_G = 0,020$	RCA
Placa de Circuito Impresso	08	1 (MIL-SPEC)	0,0027	MIL-HDBK-217D
Cristal	01	-	$\pi_Q \lambda_G = 0,050$	SPAR
Divisor de Potência	01	-	$\pi_Q \lambda_G = 0,010$	RCA
Acoplador Direcional	01	-	$\pi_Q \lambda_G = 0,009$	SPAR AEROSPACE
Circuito Integrado (ECL)	01	0,5 (S) $\pi_L=1$	0,006	MIL-HDBK-217D

A taxa de falha do oscilador $\bar{\lambda}$ é dada pela equação abaixo:

$$\lambda_{OSC} = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_G \pi_Q)_i = 0,28670 .$$

3.2.2 - RECEPTOR

A Tabela 2 apresenta a quantidade e o tipo de cada componente utilizado no receptor, bem como as taxas de falhas correspondentes.

TABELA 2

COMPONENTES DO RECEPTOR

DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES	N_i	π_G	λ_G f/10 ⁶ h	FONTE
Resistor de Composição	15	0,03 (S)	0,00051	MIL-HDBK-217D
Capacitor Cerâmico	28	0,03 (S)	0,0029	MIL-HDBK-217D
Indutor de RF	11	1 (MIL-SPEC)	0,0016	MIL-HDBK-217D
Transistor de RF	03	0,25 (JAN TXV)	$\pi_Q \lambda_G = 0,020$	RCA
Placa de Circuito Impresso	04	1 (MIL-SPEC)	0,0027	MIL-HDBK-217D
Mixer de RF	01	-	$\pi_Q \lambda_G = 0,050$	Estimado

A taxa de falha do receptor fica então:

$$\lambda_{REC} = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_G \pi_Q)_i = 0,14107 .$$

3.2.3 - CAG/FI

A Tabela 3 apresenta os componentes do CAG/FI.

TABELA 3

COMPONENTES DO CAG/FI

DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES	N_i	π_Q	λ_G f/10 ⁶ h	FONTE
Resistor de Composição	48	0,03 (S)	0,00051	MIL-HDBK-217D
Capacitores Cerâmicos	39	0,03 (S)	0,0029	MIL-HDBK-217D
Indutor de RF	10	1 (MIL-SPEC)	0,0016	MIL-HDBK-217D
Transistor de RF	04	0,25 (JAN TXV)	$\pi_Q \lambda_G = 0,020$	RCA
Placa de Circ. Impresso	03	1 (MIL-SPEC)	0,0027	MIL-HDBK-217D
Diodo Si (GP)	07	0,1 (JAN TXV)	0,0007	MIL-HDBK-217D
Circuito Integrado	04	0,1 (S)	0,009	MIL-HDBK-217D
Divisor de Potência	01	-	$\pi_Q \lambda_G = 0,010$	RCA
Mixer de RF	01	-	$\pi_Q \lambda_G = 0,050$	Estimado
Filtro a Cristal	01	-	$\pi_Q \lambda_G = 0,100$	RCA

A taxa de falha do CAG/FI é então:

$$\lambda_{\text{CAG/FI}} = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_G \pi Q)_i = 0,27232 .$$

3.2.4 - MODULADOR

A Tabela 4 apresenta os componentes do Modulador de Fase.

TABELA 4

COMPONENTES DO MODULADOR DE FASE

DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES	N_i	λ_Q	λ_G $f/10^6\text{h}$	FONTE
Resistor de Composição	01	0,03 (S)	0,00051	MIL-HDBK-217D
Capacitor Cerâmico	04	0,03 (S)	0,0029	MIL-HDBK-217D
Indutor de RF	04	1 (MIL-SPEC)	0,0016	MIL-HDBK-217D
Diodo Varactor	02	0,3 (JAN TXV)	0,24	MIL-HDBK-217D
Placa de Circ. Impresso	01	1 (MIL-SPEC)	0,0027	MIL-HDBK-217D
Híbrida	01	-	$\pi Q \lambda_G = 0,025$	RCA

A taxa de falha do modulador fica então:

$$\lambda_{\text{MOD}} = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_G \pi Q)_i = 0,17846 .$$

3.2.5 - TRANSMISSOR

A Tabela 5 mostra os componentes do transmissor e suas taxas de falhas.

TABELA 5

COMPONENTES DO TRANSMISSOR

DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES	N_i	π_Q	$\frac{\lambda_G}{f/10^6 h}$	FONTE
Resistor de carvão	29	0,03 (S)	0,00051	MIL-HDBK-217D
Capacitor Cerâmico	33	0,03 (S)	0,0029	MIL-HDBK-217D
Indutor de RF	14	1 (MIL-SPEC)	0,0016	MIL-HDBK-217D
Transistores de RF	05	0,25 (JAN TXV)	$\pi_Q \lambda_G = 0,020$	RCA
Placa de Circuito Impresso	09	1 (MIL-SPEC)	0,0027	MIL-HDBK-217D
Diodo Detector em Microondas (Si)	01	0,3 (JAN TXV)	0,18	MIL-HDBK-217D
Circulador	01	-	$\pi_Q \lambda_G = 0,010$	SPAR AEROSPACE

A taxa de falha do transmissor é então dada por:

$$\lambda_{\text{TRANS}} = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_G \pi_Q)_i = 0,41561 .$$

3.3 - CÁLCULO DA CONFIABILIDADE DE CADA CIRCUITO

Uma vez calculadas as taxas de falhas de cada um dos circuitos que compõem o Tranponder PCD, pode-se então determinar a confiabilidade de cada um pela Equação 5 (Seção 2.1), ou seja:

$$R(t) = e^{-\lambda t} .$$

A Tabela 6 apresenta a confiabilidade de cada um dos circuitos para $t = 6, 12, 18$ e 24 meses. Desta forma, pode-se analisar a importância relativa de cada circuito ao longo do tempo.

TABELA 6

CONFIABILIDADE DOS CIRCUITOS DO TRANSPONDER PCD

CIRCUITO	TAXA DE FALHA $f/10^6h$	CONFIABILIDADE $R(t)$			
		TEMPO (MESES)			
		6	12	18	24
OSCILADOR	0,28670	0,99874	0,99749	0,99624	0,99499
RECEPTOR	0,14107	0,99938	0,99876	0,99815	0,99753
CAG/FI	0,27232	0,99881	0,99762	0,99643	0,99524
MOD FASE	0,17846	0,99922	0,99844	0,99766	0,99688
TRANSMISSOR	0,41561	0,99818	0,99636	0,99455	0,99274

3.4 - ANÁLISE COMPARATIVA DAS TRÊS CONFIGURAÇÕES

Tendo-se calculado a taxa de falha de cada um dos blocos (oscilador, receptor, CAG/FI, modulador de fase e transmissor) que compõem o Transponder PCD, é possível então determinar a confiabilidade de cada uma das três configurações apresentadas.

O esquema mais simples é o que foi apresentado na Figura 3, o qual não tem nenhuma redundância. Se falhar qualquer um dos blocos o sistema falha. Portanto o diagrama lógico é o que é apresentado na Figura 6, onde todos os blocos estão em série. Neste caso, a confiabilidade do sistema é dada por (veja-se a Equação 10, Seção 2.2):

$$R_1(t) = \exp[-(\lambda_{OSC} + \lambda_{REC} + \lambda_{CAG/FI} + \lambda_{MOD} + \lambda_{TRANS})t] \quad (14)$$

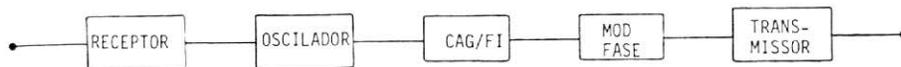


Fig. 6 - Diagrama lógico de confiabilidade para o Esquema 1 (configuração sem redundância).

A segunda configuração em grau de complexidade é a que foi apresentada na Figura 4, e o seu diagrama lógico de confiabilidade é mostrado na Figura 7. A confiabilidade neste caso é dada por:

$$R_2(t) = R_{CH_A}(t) \cdot R_{P_1}(t) \cdot R_{HIB}(t) \cdot R_{P_2}(t) \cdot R_{CH_B}(t) \quad (15)$$

onde

$R_{CH_A}(t)$ - confiabilidade da chave A ,

$R_{P_1}(t)$ - confiabilidade do sistema formado por duas cadeias (RECEPTOR, OSCILADOR, CAG/FI e MODULADOR DE FASE) em paralelo,

$R_{HIB}(t)$ - confiabilidade da híbrida,

$R_{P_2}(t)$ - confiabilidade do sistema formado por dois transmissores em paralelo,

$R_{CH_B}(t)$ - confiabilidade da chave B.

Para calcular $R_{P_1}(t)$ observa-se que este é um sistema paralelo com dois elementos iguais; neste caso,

$$R_{P_1}(t) = 1 - [1 - R_S(t)]^2 ,$$

onde

$R_S(t)$ é dado por:

$$R_S(t) = R_{REC}(t) \cdot R_{OSC}(t) \cdot R_{CAG/FI}(t) \cdot R_{MOD}(t) .$$

Para $R_{P_2}(t)$, tem-se que:

$$R_{P_2}(t) = 1 - [1 - R_{TRANS}(t)]^2 ,$$

tendo-se então completado o cálculo para a segunda configuração.

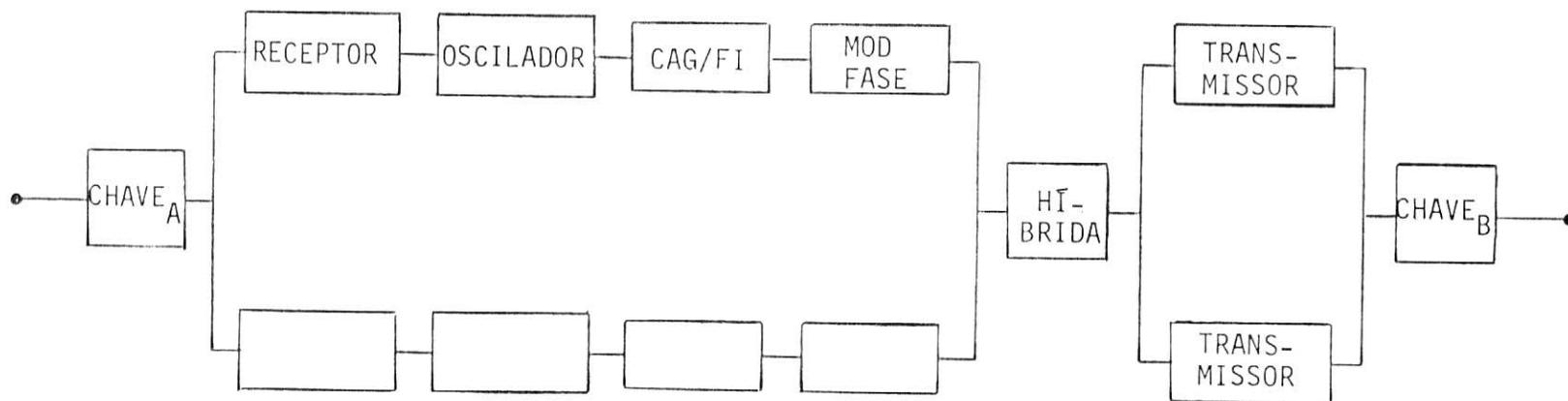


Fig. 7 - Diagrama lógico de confiabilidade para o Esquema 2 (configuração com duas cadeias em paralelo).

Para a terceira configuração (Figura 5), o diagrama lógico de confiabilidade é apresentado na Figura 8. Neste caso, a confiabilidade é dada por:

$$R_3(t) = R_{CH_A}(t) \cdot R_{P_3}(t) \cdot R_{H_A}(t) \cdot R_{H_B}(t) \cdot R_{H_C}(t) \cdot R_{H_D}(t) \cdot R_{P_4}(t) \cdot R_{P_2}(t) \cdot R_{CH_B}(t), \quad (16)$$

onde

$R_{CH_A}(t)$, $R_{CH_B}(t)$ - confiabilidade das chaves A e B, respectivamente,

$R_{H_A}(t)$, $R_{H_B}(t)$, $R_{H_C}(t)$, $R_{H_D}(t)$ - confiabilidade das híbridas A, B, C e D, respectivamente,

$R_{P_3}(t)$ - confiabilidade do sistema formado pelos dois osciladores em paralelo,

$R_{P_2}(t)$ - confiabilidade do sistema formado pelos dois transmissores em paralelo,

$R_{P_4}(t)$ - confiabilidade do sistema formado por duas cadeias (RECEPTOR, CAG/FI, MOD FASE) em paralelo.

Desta forma tem-se que:

$$R_{P_2}(t) = 1 - [1 - R_{TRANS}(t)]^2,$$

$$R_{P_3}(t) = 1 - [1 - R_{OSC}(t)]^2,$$

$$R_{P_4}(t) = 1 - [1 - R_{REC}(t) \cdot R_{CAG/FI}(t) \cdot R_{MOD}(t)]^2,$$

tendo-se então completado o cálculo para a terceira configuração.

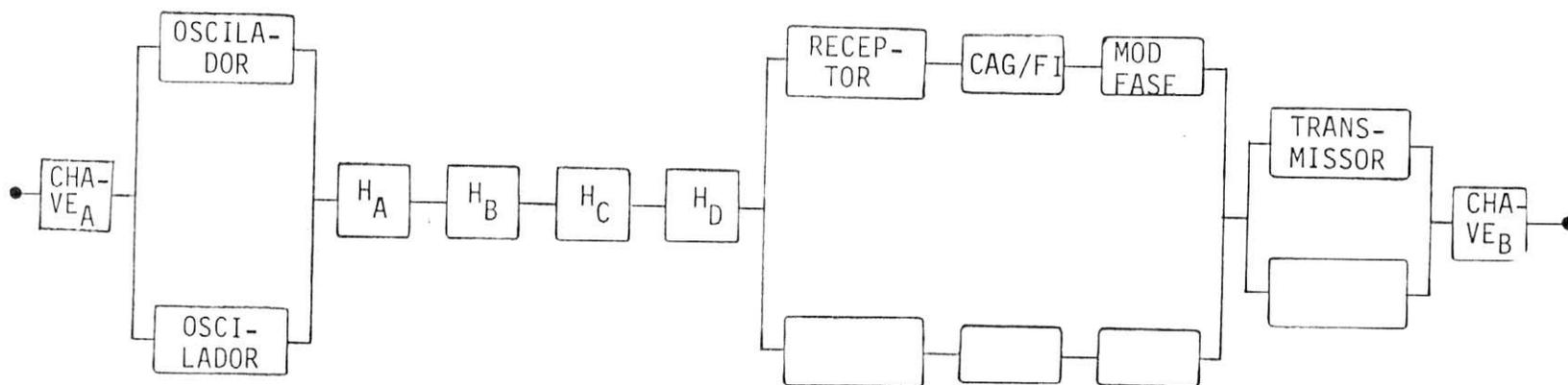


Fig. 8 - Diagrama de confiabilidade para o Esquema 3 (configuração em paralelo com a possibilidade de cada oscilador local operar com qualquer uma das cadeias).

Tendo sido determinadas as expressões de confiabilidade (Equações 14, 15 e 16) para as três configurações em estudo, pode-se então fazer uma comparação para verificar qual a que apresenta a maior confiabilidade para um dado tempo. A Tabela 7 apresenta os cálculos para as três configurações, para os tempos de 6 meses, 1 ano, 18 meses, 2 anos, 4 anos e 8 anos, considerando as chaves idênticas e com taxas de falhas iguais a 5×10^{-9} , e também as híbridas todas iguais com taxas de falhas iguais a 1×10^{-9} .

Observando a Tabela 7, pode-se concluir que:

- a) Para missões com duração de 2 anos (ou menos), como é o caso do Satélite de Coleta de Dados da MECB, a Configuração 1 (sem redundância) mostra-se bastante atrativa, pois o que se perde em confiabilidade em relação às outras alternativas (de 0,97757 para 0,99952 ou 0,99956 para $t = 2$ anos) não é significativo quando se leva em consideração os aumentos da massa e do volume das Configurações 2 e 3.
- b) Para missões de longa duração, como o caso de um satélite de comunicações (8 anos), a Configuração 2 certamente seria a mais atrativa.
- c) Não há um grande aumento de confiabilidade quando se passa da Configuração 2 para a 3, mesmo para este caso onde se consideram híbridas com taxas de falhas bastante baixas (1×10^{-9}).

TABELA 7

COMPARAÇÃO ENTRE AS TRÊS CONFIGURAÇÕES (CONSIDERANDO AS CHAVES COM
 $\lambda = 5 \times 10^{-9}$ E AS HÍBRIDAS COM $\lambda = 1 \times 10^{-9}$)

TEMPO	CONFIGURAÇÕES		
	SEM REDUNDÂNCIA	COM DUAS CADEIAS REDUNDANTES	COM DUAS CADEIAS E REDUNDÂNCIA DO OSCILADOR
6 meses	0,99434	0,99994	0,99993
1 ano	0,98872	0,99983	0,99983
18 meses	0,98313	0,99970	0,99972
2 anos	0,97757	0,99952	0,99956
4 anos	0,95564	0,99848	0,99878
8 anos	0,91324	0,99484	0,99614

4. COMENTÁRIOS FINAIS

Para a determinação da redundância adequada para um determinado subsistema é necessário determinar inicialmente a taxa de falha de cada circuito que faz parte de tal subsistema para, em seguida, calcular a confiabilidade da configuração não-redundante. Em seguida, utilizando as taxas de falhas dos diversos circuitos, pode-se calcular a confiabilidade de configurações com redundância, de modo a obter a confiabilidade requerida dentro do período desejado para a missão.

Como o momento em que um determinado componente falha é uma variável aleatória, a redundância é também utilizada para reduzir ou eliminar pontos onde uma única falha em um componente (ou circuito) pode levar o satélite a ficar fora de operação. Entretanto, como a utilização de redundância geralmente aumenta a complexidade, o custo o peso, o volume e o consumo de energia do satélite, a redun

dância deve ser usada criteriosamente, sendo muitas vezes limitada por alguns dos fatores acima mencionados.

Dessa forma, para missões de curta duração (≤ 2 anos), como é o caso do Satélite de Coleta de Dados, a análise comparativa apresentada na Seção 3.4 mostra claramente que, para o subsistema Transponder PCD, a configuração mais vantajosa é a que não utiliza redundância nenhuma. Esta configuração, além de minimizar a complexidade do subsistema com relação a telecomandos e telemetria, apresenta a menor massa e o menor volume entre as três configurações que foram aqui descritas.

BIBLIOGRAFIA

- POLOVKO, A.M. Fundamentals of reliability theory. New York, Academic Press, 1968.
- SHOUMAN, M.L. *Probabilistic reliability*. An engineering approach. New York, McGraw-Hill Book, 1968.
- US. Department of Defense. *Military handbook: reliability prediction of electronic equipment*. Local, Jan. 1982. (MIL-HDBK-217D).