

MAPEAMENTO ANALÍTICO DA CONFIABILIDADE DE DETECTORES DE INCÊNDIO EM  
UMA USINA NUCLEAR

Wagner Ferreira Soares

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A  
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA NUCLEAR.

Aprovada por:

---

Prof. Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo, D. Sc.

---

Prof. Antonio Carlos Marques Alvim, Ph.D.

---

Dr. Marco Antônio Bayout Alvarenga, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2008

SOARES, WAGNER FERREIRA

Mapeamento Analítico da Confiabilidade de Detectores de Incêndio em Uma Usina Nuclear [Rio de Janeiro] 2008

XII, 104 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Nuclear, 2001)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Análise de Confiabilidade
2. Taxas de Falha
3. Análise Estatística
4. Metodologia Não Paramétrica
5. Detecção e Proteção Contra-Incêndio

I. COPPE/UFRJ      II. Título (série)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, primeiramente, pelas oportunidades que me tem proporcionado e pela forma maravilhosa como as direciona. A Ele toda honra e toda a glória.

Ao Prof. Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo, por ter aceitado a minha solicitação como orientado. Pelo respeito, simplicidade, dedicação e valorosa orientação para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Antonio Carlos Marques Alvim e ao Dr. Marco Antônio Bayout Alvarenga pela participação na Banca Examinadora.

Ao Dr. Pedro Luiz da Cruz Saldanha, da Coordenação de Reatores da Comissão Nacional de Energia Nuclear, pelo incentivo, sugestões, comentários e inúmeras horas dedicadas na contribuição para a realização deste trabalho.

À Eletrobrás Termonuclear S.A., pelo gentil fornecimento de informações operacionais e acesso a bancos de dados de órgãos de fiscalização internacionais, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

A todo corpo docente do Programa de Engenharia Nuclear da COPPE/UFRJ cujo ensinamento foi essencial para a realização desta dissertação.

Aos funcionários da COPPE, pelo incentivo e cooperação.

A todos os colegas da COPPE/Nuclear pelas inúmeras horas de trabalho, incentivo e estudo dedicados nas cadeiras do mestrado.

Não por último, mas finalmente, à minha esposa Rosane, pela dedicação e incentivo nas horas difíceis, em que me motivou a concluir mais esta vitoriosa etapa de vida.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

## MAPEAMENTO ANALÍTICO DA CONFIABILIDADE DE DETECTORES DE INCÊNDIO EM UMA USINA NUCLEAR

Wagner Ferreira Soares

Março/2008

Orientador: Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo

Programa: Engenharia Nuclear

Este trabalho apresenta um levantamento de dados de falha de sistemas de detecção automática de incêndio em uma usina nuclear de água leve pressurizada (PWR) padrão Siemens-KWU de 1350 MWe, sendo sua nomenclatura de prédios; estruturas e equipamentos é padronizada mundialmente de forma que os dados aqui apresentados não representam uma única usina mas um modelo teórico baseado em informações de diversas plantas do mesmo tipo.

A proposta principal deste trabalho é identificar os maiores focos de falhas de detectores de incêndio, bem como as suas principais causas, propondo soluções aplicáveis.

A confiabilidade dos sistemas de detecção implica diretamente na redução do tempo de início de combate automatizado e manual, sendo, em última análise um dos fatores diretamente responsáveis pela duração e dano provocado pelo do incêndio.

Foi realizado um levantamento das taxas de falha de detectores de incêndio dos edifícios, através do Método Não Paramétrico, levando a conclusão da necessidade de modificações em várias áreas, desde projeto à operação de uma usina, para viabilizar a melhoria da confiabilidade do sistema de detecção de incêndio.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

## ANALITICAL MAPING ON SMOKE DETECTORS RELAIABILITY IN A NUCLEAR POWER PLANT

Wagner Ferreira Soares

March/2008

Advisor: Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo

Department: Nuclear Engineering

This work presents a research on failure data for fire and smoke detectors in a 1350 MWe KWU-Siemens standard pressurized water reactor nuclear power plant, for which the identification system for buildings, structures and operational systems are standardized worldwide in such a way that the data used here do not represent a unique power plant but a theoretical model based on information of similar plants.

The main goal of this work was to identify the principal failure points on the plant, its causes and to propose applicable and achievable solutions.

Fire system detection reliability implies directly on automatic and manual fire fighting time, being one of the most important features for fire duration time and consequent damages.

A research on fire detector failure rates was made for each building using a Non Parametric Method, leading to the conclusion upon the need of changes involving various areas, from design to operations, in order to improve Fire System Detection reliability.

## Índice

1- INTRODUÇÃO	1
1.1 – APRESENTAÇÃO	1
1.2 – VISÃO GERAL DO PROBLEMA DE INCÊNDIO	3
1.2.1 - Panorama de incêndios e suas conseqüências	3
1.2.2 - O impacto dos falsos alarmes	6
1.2.3-Eventos em usinas e instalações nucleares devido a falhas de detecção	7
1.2.4 - A importância do mapeamento na prevenção de eventos	11
2 - O SISTEMA EXISTENTE	12
2.1 - Descrição do Sistema de Alarme de Incêndio	12
2.1.1 - Geral	12
2.1.2 - Modo de operação	12
2.1.3 – Descrição do circuito e arranjo de sistema, projeto e instalação.	14
2.2 – Descrições de equipamentos	15
2.3 – Linhas de alarme de incêndio	17
2.4- Detectores de incêndio no Sistema de Alarme de Incêndio	18
2.4.1- Detectores de fumaça- tipo ionização	18
2.4.2 - Detectores óticos de fumaça	19
2.4.3 - Detectores térmicos e termovelocimétricos	20
3 – PESQUISAS DE DADOS DE FALHAS DE DETECTORES DE INCÊNDIO E CÁLCULO DA CONFIABILIDADE	22
3.1 - Pesquisa de dados de falha	22
3.2 - Cálculos de confiabilidade e taxas de falha	23
3.3 - Mapeamento das taxas de falha da usina por edifício	24
3.3.1 - Estrutura da Tomada D'Água de Segurança - 1-2 UQB	24
3.3.2 - Galerias de Cabos do Edifício de Água de Alimentação e Suprimento de Potência de Emergência -1-4ULZ	26
3.3.3 - Galerias de Cabos do Edifício da Turbina - 1-4 UMZ	28
3.3.4 - Galerias de cabos do Edifício de Controle - 1-9 UBZ	30
3.3.5 - Edifício de Controle – UBA	32
3.3.6 - Área do Transformador do Suprimento Auxiliar (BCT) - UBC, Baias dos Transformadores de Tensão de Saída (BAT) – UBE, e Baias dos Transformadores de Suprimentos aos Sistemas Auxiliares (BBT) – UBF	34
3.3.7 - Baias dos Transformadores Rebaixadores de Tensão – BHT/BFT - UBD	36

3.3.8 - Edifício de Suprimento de Potência de Emergência e da Central de Água Gelada. - UBP	38
3.3.9 - Edifício do Sistema de Água Desmineralizada (GC) - UGD	40
3.3.10 - Edifício do Reator – UJA	42
3.3.11 - Anulus do Edifício do Reator – UJB	44
3.3.12 - Edifício da Estação de Válvulas dos Sistemas de Água de Alimentação e de Vapor Principal – UJE	46
3.3.13 - Edifício Auxiliar do Reator - UKA	48
3.3.14 - Estrutura da Chaminé de Descargas de Gases - UKH	50
1.1.15 - Edifício de Água de Alimentação e Suprimento de Potência de Emergência - ULB	52
3.3.16 - Edifício do Laboratório Químico Frio e Bombas de Água Desmineralizada - ULD	54
3.3.17 - Edifício da Turbina- UMA	56
3.3.18 - Estrutura de tomada D'Água- UPC	58
3.3.19 - Edifício do Sistema de Biocida - UPQ	60
3.3.20 - Edifício de Oficinas de Manutenção - UST	62
3.3.21 - Depósitos de Lubrificantes- USU e 5USU	64
3.3.22 - Edifício da Caldeira- UTA	66
3.3.23 - Edifício dos Escritórios e Administração- UYA	68
4 – FALSOS ALARMES NO SISTEMA DE ALARME DE INCÊNDIO	70
5 – OS PROBLEMAS E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES	72
5.1 – Classificações dos problemas e possíveis soluções	72
5.1.1 – Problemas de instalação e comissionamento	72
5.1.2 – Problemas de fornecimento de materiais de reposição	73
5.1.3 – Problemas de projeto	73
5.1.4 – Problemas de atualização tecnológica	74
5.1.5 – Problemas de armazenamento e rastreabilidade	74
5.1.6 – Problemas de interface com outros sistemas	76
6 – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	77
APÊNDICE	79
REFERÊNCIAS	104

## NOMENCLATURA

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
CO<sub>2</sub> - Agente extintor por monóxido de carbono  
SISTEMA DE ALARME DE INCÊNDIO- Sistema de Alarme de Incêndio  
CXR - Sistema de Atuação de Contra Incêndio  
EPRI - *Energy Power Research Institute*  
FM200 - gás extintor (substituto do Halon)  
INPO – *Institute of Nuclear Power Operators*  
NFPA – *National Fire Protection Association*  
WANO – *World Association of Nuclear Operators*  
KKS - *Kraftwerkskennzeichensystem*  
1-2 UQB – Estrutura da Tomada D'Água de Segurança  
1-4ULZ – Galerias de Cabos do Edifício de Água de Alimentação e Suprimento de Potência de Emergência  
1-4 UMZ – Galerias de Cabos do Edifício da Turbina  
1-9 UBZ – Galerias de cabos do Edifício de Controle  
UBA - Edifício de Controle  
UBC – Área do Transformador do Suprimento Auxiliar -BCT  
UBE – Baias dos Transformadores de Tensão de Saída (BAT)  
UBF – Baias dos Transformadores de Suprimentos aos Sistemas Auxiliares - BBT  
UBD – Baias dos Transformadores Rebaixadores de Tensão – BHT/BFT  
UBP – Edifício de Suprimento de Potência de Emergência e da Central de Água Gelada  
UGD – Edifício do Sistema de Água Desmineralizada – GC  
UJA - Edifício do Reator  
UJB – Anulus do Edifício do Reator  
UJE – Edifício da Estação de Válvulas dos Sistemas de Água de Alimentação e de Vapor Principal  
UKA - Edifício Auxiliar do Reator  
UKH – Estrutura da Chaminé de Descargas de Gases  
ULB - Edifício de Água de Alimentação e Suprimento de Potência de Emergência  
ULD – Edifício do Laboratório Químico Frio e Bombas de Água Desmineralizada  
UMA – Edifício da Turbina  
UPC – Estrutura de tomada D'Água  
UPQ – Edifício do Sistema de Biocida  
UST – Edifício de Oficinas de Manutenção  
USU e 5USU – Depósitos de Lubrificantes

UTA – Edifício da Caldeira

UYA – Edifício dos Escritórios e Administração

UYF – Guarita Principal

## TABELAS

Tabela 1 - Incêndios em estruturas não residenciais nos EUA – 1977 a 2005.

Tabela 2 - Condições ambientais externas de projeto dos detectores de incêndio

Tabela 3 - Condições ambientais internas de projeto dos detectores de incêndio

## FIGURAS

- Figura 1 – Percentual de incêndios estruturais reportados em que sistema de detecção operou, por ocupação – 2000 a 2004 – Médias.
- Figura 2 – Falsos alarmes nos Estados Unidos em 2005
- Figura 3 – Detector óptico sem presença de fumaça.
- Figura 4 – Detector óptico com presença de fumaça.
- Figura 5 - Princípio de funcionamento de um detector termovelocimétrico.
- Figura 6 - Detector termovelocimétrico sem variação de temperatura.
- Figura 7 - Detector termovelocimétrico com variação de temperatura.
- Figura 8 – Gráfico da confiabilidade de detectores no 1-2UQB.
- Figura 9 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no 1-2UQB.
- Figura 10 – Gráfico da confiabilidade de detectores no 1-4ULZ.
- Figura 11 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no 1-4ULZ.
- Figura 12 – Gráfico da confiabilidade de detectores no 1-4UMZ.
- Figura 13 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no 1-4UMZ.
- Figura 14 – Gráfico da confiabilidade de detectores no 1-9UBZ.
- Figura 15 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no 1-9UBZ.
- Figura 16 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UBA.
- Figura 17 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UBA.
- Figura 18 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UBC, UBE, UBF.
- Figura 19 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UBC, UBE, UBF.
- Figura 20 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UBD.
- Figura 21 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UBD.
- Figura 22 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UBP.
- Figura 23 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UBP.
- Figura 24 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UGD.
- Figura 25 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UGD.
- Figura 26 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UJA.
- Figura 27 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UJA.
- Figura 28 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UJB.
- Figura 29 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UJB.
- Figura 30 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UJE.
- Figura 31 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UJE.
- Figura 32 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UKA.
- Figura 33 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UKA.
- Figura 34 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UKH.

Figura 35 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UKH.  
Figura 36 – Gráfico da confiabilidade de detectores no ULB.  
Figura 37 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no ULB.  
Figura 38 – Gráfico da confiabilidade de detectores no ULD.  
Figura 39 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no ULD.  
Figura 40 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UMA.  
Figura 41 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UMA.  
Figura 42 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UPC.  
Figura 43 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UPC.  
Figura 44 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UPQ.  
Figura 45 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UPQ.  
Figura 46 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UST.  
Figura 47 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UST.  
Figura 48 – Gráfico da confiabilidade de detectores no USU e 5USU.  
Figura 49 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no USU e 5USU.  
Figura 50 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UTA.  
Figura 51 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UTA.  
Figura 52 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UYA.  
Figura 53 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UYA.

# 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1 – APRESENTAÇÃO

O desempenho correto das funções para as quais uma instalação ou planta é projetada está relacionado com vários fatores de projeto e logística para atendimento aos processos realizados ali, levando-nos à idéia de que estando o projeto dos sistemas e estruturas corretamente concebido, executado, e fornecidos os subsídios necessários à produção, esta planta alcançará sem problemas maiores as metas e objetivos de seus proprietários e construtores.

No entanto, a perenidade da planta está relacionada, além de fatores econômicos e de ordem operacional, à própria segurança do patrimônio, no que se refere à continuação de sua integridade física e capacidade operacional.

Perigos relacionados a este aspecto passam desde os relacionados a furtos e sabotagem até os eventos de acidentes que provocam danos ao patrimônio, que dependendo do tamanho do dano infringido à instalação, pode levar à redução da capacidade produtiva, interrupção temporária de operação ou mesmo sua desativação.

O risco de incêndio é um fator cada vez mais pesquisado em todo mundo uma vez que se torna mais dispendioso o reparo de instalações, acompanhando os custos de estruturas e equipamentos que se elevam junto com a evolução da tecnologia. Cada vez mais, indústrias de processos complexos se empenham em buscar sistemas de aviso e combate a incêndio que possam reduzir a duração do incêndio ou avisar o mais rápido possível ao pessoal responsável pelo combate ao fogo.

Em usinas nucleares em cujos processos encerram atividades de produção de energia bem como manipulação de combustível físsil, a confiabilidade de sistemas de detecção e combate a incêndio tem papel de elevada importância, dado a preocupação nessas instalações com a segurança do núcleo do reator, sistemas sujeitos à contaminação e estruturas de construção civil, que proporcionam barreiras à liberação de radionuclídeos para o meio ambiente.

Este trabalho se inicia no Capítulo 1 com uma visão geral do problema do incêndio onde foi avaliado o impacto de incêndios em outros países e a importância de sistemas de detecção automáticos no panorama de instalações de diversos tipos e usos.

Os falsos alarmes são avaliados do ponto de vista estatístico nos EUA, para mostrar a participação de sistemas de detecção nestes eventos.

Nesta dissertação foi feita uma abordagem da importância da detecção de incêndio nos eventos ocorridos em instalações nucleares de variados tipos e propósitos, bem como as conseqüências dos eventos.

No Capítulo 2 faz-se uma apresentação do sistema de detecção instalado e em serviço em uma usina nuclear, descrevendo os princípios de funcionamento dos tipos de detectores adotados.

Foi feito no capítulo 3 um levantamento de dados de falhas de detectores de incêndio em uma usina nuclear, para verificação da concentração das ocorrências e estabelecimento de taxas de falha por edificação. Gráficos e tabelas foram elaborados para viabilizar a análise.

O impacto dos falsos alarmes foi identificado no Capítulo 4 e criticado como desvio de recursos materiais e humanos para sua identificação, podendo produzir efeitos operacionais indesejáveis de maior significância.

No Capítulo 6, após a análise das taxas de falha foi possível classificar os principais contribuintes para uma alta taxa de falha de detectores e os problemas conseqüentes disto, propondo-se um conjunto de medidas com a finalidade de redução de falhas e falsos alarmes.

Deve-se ressaltar que não há sistema de detecção à prova de falhas ou isento de manutenção corretiva requerida, em nenhuma instalação nuclear do planeta, e prova disto é que órgãos de fiscalização nacionais como a CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear; WANO – *World Association for Nuclear Operators* e INPO – *Institute of Nuclear Power Operators*, sempre incluem em suas missões de inspeção de segurança de usinas em todo mundo um ou mais especialistas de sistemas de detecção e combate a incêndio.

## 1.2 - VISÃO GERAL DO PROBLEMA DE INCÊNDIO

### 1.2.1 - Panorama de incêndios e suas conseqüências

A *Naitional Fire Protecton Association* - NFPA estabeleceu um levantamento de danos causados por incêndios em estruturas não residenciais, incluindo perdas de vidas e ferimentos em civis, de danos materiais entre os anos de 1977 e 2005, conforme podemos verificar na tabela a seguir:

Tabela 1 - Incêndios em estruturas não residenciais nos EUA – 1977 a 2005

Incêndios em estruturas não residenciais nos EUA				
Ano	Número de incêndios	Mortes de civis	Ferimentos em civis	Danos diretos à propriedade (dólares americanos)
1977	374,5	640	4,670	\$2,088,000,000
1978	355,5	335	4,585	\$1,928,000,000
1979	340	470	6,025	\$2,587,000,000
1980	331,000	475	5,025	\$2,606,000,000
1981	316,500	360	6,575	\$2,848,000,000
1982	292	380	5,125	\$2,584,000,000
1983	243,000	420	5,400	\$2,621,000,000
1984	242,500	450	4,275	\$2,529,000,000
1985	253,500	380	4,175	\$2,744,000,000
1986	234,500	330	4,175	\$2,373,000,000
1987	221,500	310	3,850	\$2,627,000,000
1988	206,500	325	4,200	\$3,291,000,000
1989	189,500	320	3,750	\$3,642,000,000
1990	169,5	350	3,850	\$2,556,000,000
1991	176	265	3,700	\$2,857,000,000
1992	178,5	235	3,225	\$3,182,000,000
1993	163,500	260	4,550	\$2,642,000,000
1994	176,000	165	3,65	\$2,652,000,000
1995	159,5	345	3,075	\$3,356,000,000
1996	161,500	185	3,000	\$3,064,000,000
1997	156,500	150	3,075	\$2,634,000,000
1998	148,000	200	2,625	\$2,444,000,000
1999	152,000	145	2,475	\$3,525,000,000
2000	137,500	115	2,625	\$2,976,000,000
2001	138	110	2,025	\$3,358,000,000
2002	130,000	105	1,950	\$2,811,000,000
2003	131,000	240	1,950	\$2,729,000,000
2004	130,5	115	1,825	\$2,481,000,000
2005	130	75	2,025	\$2,464,000,000

Fonte: NFPA - *Annual National Fire Experience Survey*

Portanto se faz necessário que os sistemas de combate a incêndio sejam confiáveis para redução da exposição da usina a perda de vidas e danos ao patrimônio e segurança do público interno e externo.

A confiabilidade de um sistema de combate a incêndio está intimamente dependente de um sistema de detecção confiável, ou seja, com baixa taxa de falhas.

De outro modo, atuações espúrias ou falsas de detectores podem levar a situações indesejáveis e muito freqüentes de inspeções infrutíferas em áreas insalubres ou de radiação, bem como acionamentos desnecessários de brigadas de incêndio e até disparos indesejáveis de sistemas de combate a incêndio com ativação automática.

A repetição de falsos alarmes é preocupante, não só em estruturas especiais como usinas nucleares, mas em todo tipo de estrutura, ocupada por pessoas onde há também risco de morte ou ferimentos graves por queimaduras, quedas e outros tipos de danos físicos associados a um incêndio de grandes proporções.

Nas estatísticas da NFPA podemos verificar que a presença de sistemas de detecção de incêndio em operação não impede os sinistros, mas reduz significativamente os casos de incêndios estruturais, com destaque para as indústrias. Pode-se perceber na figura abaixo que as instalações domésticas e de uso residencial ou de saúde lideram as estatísticas de eventos de incêndio (acima de 50%) mesmo possuindo sistemas de detecção em serviço, ao passo que as indústrias têm um percentual de aproximadamente 35%. Tal diferença se deve ao tipo de detector adotado, em que há uma presença maior de detectores conectados a fio e detectores a fio com bateria de backup muito maior nas indústrias do que nas instalações citadas acima.

Retorna-se então novamente à questão da confiabilidade dos sistemas de detecção, que são mais disponíveis em serviço quando conectados por fio ou com bateria de backup (64% dos casos) do que nos tipos alimentados apenas por bateria (20%). A pesquisa realizada pela NFPA reputa como principal causa da diferença entre os índices apresentados a maior possibilidade de falha de sistemas, bem como um projeto deficiente de detecção mais presente nos domicílios que nas indústrias.

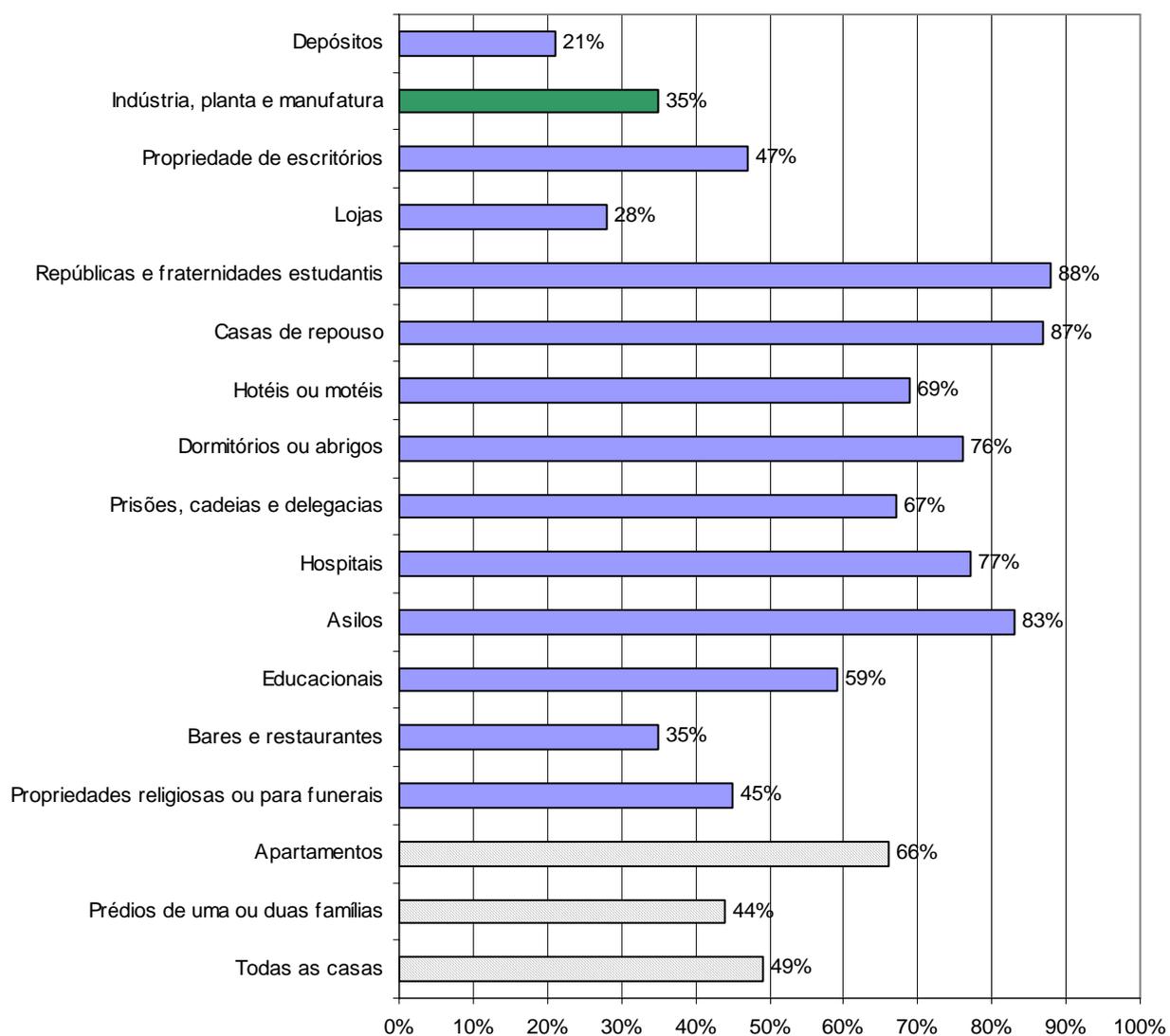


Figura 1 – Percentual de incêndios estruturais reportados em que sistema de detecção operou, por ocupação – 2000 a 2004 – Médias.

Fonte : NFPA- *Annual National Fire Experience Survey*

### 1.2.2 - O impacto dos falsos alarmes

Falsos alarmes também são fonte de problemas para os sistemas de detecção visto que provocam, além do estresse desnecessário aos membros das equipes de operação e de combate a incêndio, responsáveis pela verificação e implementação de ações de combate ao incêndio; há ainda riscos de disparo de sistemas manuais e automáticos de forma equivocada.

Disparos de sistemas de combate a incêndio não são imunes a provocar danos aos equipamentos protegidos. Dependendo do tipo de agente extintor utilizado e do tipo de equipamento, há riscos de curto circuito em equipamentos elétricos e inundação de equipamentos mecânicos, levando a uma indesejada indisponibilidade.

Esta fragilidade destes sistemas é acompanhada por estatísticas da NFPA (por exemplo) para mensurar a sua importância nos eventos relacionados à operação dos sistemas de combate a incêndio, de forma a prevenir recorrências, seja por alteração de procedimentos ou modificações de projeto.

Conforme podemos verificar na figura abaixo, os falsos alarmes têm importância significativa entre os eventos reportados, sendo identificáveis as suas principais origens.

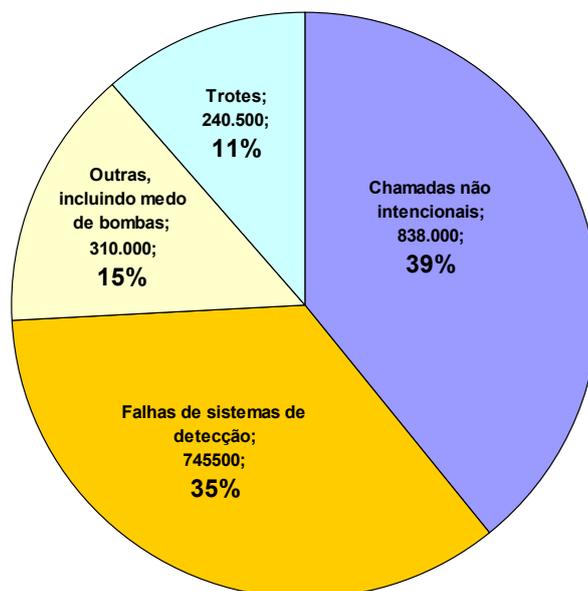


Figura 2 – Falsos alarmes nos Estados Unidos em 2005

Fonte : NFPA- *Annual National Fire Experience Survey*

Destes falsos alarmes, 35% correspondem a falhas de sistemas de detecção, que são originadas principalmente por falhas de detectores, curto-circuito em linhas, falhas de alimentação em linhas e painéis, falhas de baterias de backup, umidade excessiva no ambiente, corrosão de contatos em detectores e em painéis.

### 1.2.3 - Eventos em usinas e instalações nucleares devido a falhas de detecção

Há vários eventos reportados pelo Grupo de Trabalho denominado VGB-POWERTECH, constituído por operadores de usinas alemãs e pelo EPRI (Energy Power Research Institute) que demonstram que a fragilidade do sistema de detecção pode levar a situações operacionais indesejáveis das plantas nucleares. Dentre estes eventos podemos destacar:

#### 1. Berkeley-Active Waste Vault 1

Atuação do Sistema de Supressão de Fogo com Argônio como resultado de alarme indevido de detector de incêndio.

Resumo:

Após falso alarme do Sistema de Detecção por Amostragem de Ar e Alarme Antecipado (VESDA), foi acionado automaticamente o sistema de extinção por injeção de argônio e devido à baixa eficiência das válvulas reguladoras de pressão para disparo automático houve uma seqüente injeção manual no mesmo sistema, sendo que após a devida purga do gás pelo sistema de ventilação, não foi encontrado nenhum vestígio de incêndio na sala sinistrada. Outro sistema - PROTEC, com diversidade de detecção era previsto, no entanto apenas o VESDA estava comissionado. A falha simples deste sistema levou ao disparo. Foram encontrados detectores bloqueados com material plástico e com presença de teias de aranha.

A sala em questão é de rejeitos de alta atividade. Houve preocupação da formação de hidrato de urânio com o argônio remanescente na sala. Após avaliação por especialista, e inspeção de permanência de argônio em alguma cavidade da sala, esta hipótese foi descartada.

Além de recomendações de manutenção preventiva nas válvulas reguladoras de pressão e detectores do sistema de detecção foi recomendado o comissionamento mais breve possível do sistema de detecção redundante.

#### 2. WNP-2 -Washington Public Power Supply System (BWR)

Atuação do sistema de detecção partiu bombas de incêndio provocando ruptura e inundação dos sistemas de segurança de remoção de calor residual.

Resumo:

Usina na condição de desligado frio, com remoção do calor do núcleo pelas bombas de remoção de calor residual (RCR). Devido a falso alarme de incêndio,

provocado por fumaça de um trabalho de solda, a válvula do sistema de pré-ação de combate a incêndio operou, provocando queda de pressão no sistema de incêndio, sendo compensada pela partida das bombas de incêndio. Esta partida provocou uma súbita elevação de pressão no sistema, conhecida com martelo d'água, e conseqüente ruptura do castelo de válvula de aço na base da tubulação de incêndio. A água vinda da ruptura inundou a escadaria do edifício do reator e a sala de uma bomba de remoção de calor residual (RCR), submergindo-a, bem como o seu motor. A água passou por dreno de piso da sala inundada e inundou a sala do spray de baixa pressão do núcleo. Até que as bombas fossem desligadas, 616 m<sup>3</sup> de água de incêndio foram espalhadas pelas escadarias e salas de bombas adjacentes.

3. Laboratório Nacional de Engenharia e Ambiente de Idaho - Atuação do Sistema de Supressão de Incêndio com Dióxido de Carbono causou uma fatalidade e múltiplas pessoas feridas

Resumo:

Nesta instalação, um sistema de combate a incêndio por CO<sub>2</sub> disparou sem aviso durante uma atividade de manutenção elétrica em uma sala protegida por ele. Quando os trabalhadores desenergizaram o sistema de distribuição elétrica houve um pico de tensão que provocou o disparo do sistema de CO<sub>2</sub>. Durante a reunião de preparação da tarefa houve questionamento da necessidade de desenergizar as válvulas solenóides nas cabeças dos cilindros de CO<sub>2</sub> como medida preventiva ao seu disparo. Especialista de Incêndio preferiu executar um bloqueio via sistema computadorizado que reputou ser suficiente. O disparo provocou a morte de um trabalhador e a exposição de outros à atmosfera letal de CO<sub>2</sub> por pelo menos 20 minutos.

4. Sizewell B - Falha em responder ao alarme levou a falha em cumprir com ação estabelecida em especificações técnicas.

Resumo:

Durante as atividades de desligamento da usina para recarregamento, atuou um alarme de incêndio no sistema de ventilação da sala de controle 4 minutos antes de iniciar a tarefa de desconexão do gerador do sistema elétrico. O pessoal da sala de controle preferiu fazer as verificações do alarme após a desconexão do gerador elétrico, por ser uma atividade sensível e de alta responsabilidade e elevada carga de trabalho naquele momento. A verificação do alarme foi realizada apenas às dois dias depois. A ação requerida, caso fosse alarme real, seria isolar a ventilação da sala de controle e após isto o combate ao incêndio. Caso falso deveria ser feito o desvio do sinal na lógica 2 de 4 de atuação. Como este é um requisito de Especificações Técnicas, ficou

caracterizada a falha da equipe de licenciados em cumprir os requisitos obrigatórios da Especificação.

5. KALININ-2 - Federação Russa - Desarme manual do reator devido a falha do sistema de segurança no trem 2 causada por inundação de equipamento elétrico pelo sistema de extinção por água.

Resumo:

Com a ativação de alarmes de incêndio houve o disparo de sistema de aspersão de água para combate a incêndio, que inundou as salas de diversos equipamentos de segurança resultando em indisponibilidade de geradores diesel de emergência, salas de cabos, perda de suprimento de tensão de controle de sistemas lógicos 24 VCC; e outros sistemas que levaram a decisão de desligar manualmente o reator e desconectar o gerador elétrico da rede. A convocação de brigada de incêndio foi requerida para averiguar e combater o incêndio, mas não foi encontrada evidência de fogo. A conclusão do evento foi de falha de sistemas de detecção.

6. Bradwell - Alarmes inibidos na instrumentação do Depósito Composto de Rejeito Ativo identificados durante verificações de rotina.

Resumo:

Durante teste anual de verificação da calibração do sistema de monitoração do Depósito Composto de Rejeito Radioativo foi descoberto que certos alarmes estavam ou falhados ou inibidos para mascarar alarmes constantes e indevidos de detectores instalados no sistema de ventilação. Desde o comissionamento, foram encontrados problemas de condensação excessiva em dutos e seu conseqüente acúmulo provocando atuação de alarmes indevidos do sistema de incêndio. Alarmes de baixo fluxo também foram inibidos e quando investigadas as ligações dos sensores, foram encontradas invertidas levando um sinal constante de baixo fluxo, gerando alarmes, mesmo com operação normal. A montagem dos detectores de incêndio foi feita de forma que a drenagem deficiente da umidade resultava em acúmulo de condensado e conseqüente ocorrência de falhas. A condensação acumulada nos espelhos dos detectores reduzia a reflexão da luz da mesma maneira que a fumaça, resultando em falsos alarmes. Foi verificado que alguns detectores falhados levavam a falhas dos painéis de controle associados.



#### 1.2.4 - A importância do mapeamento na prevenção de eventos:

Os eventos acima citados mostram a importância e algumas das consequências de falhas em sistemas de detecção de incêndio nas usinas em vários países. Há variações nas consequências devido ao projeto particular de cada usina; redundância de sinais e lógica com confirmação de canal independente e fatores subjetivos com confiança excessiva em sistemas automáticos e aderência do pessoal envolvido aos procedimentos, normas e especificações.

Dessa forma, torna-se de real importância a avaliação das taxas de falha do sistema de detecção de usinas nucleares nacionais, pelas seguintes razões:

1. Ter um panorama de áreas de risco de atuação indevida de sistemas de combate a incêndio.
2. Possibilitar a prevenção de eventos, por intervenções de manutenção, modificações de projeto ou de rotinas de trabalho e procedimentos operacionais, orientando-se pelas áreas onde as taxas de falha estejam mais críticas.
3. O mapeamento das áreas e suas respectivas taxas de falha podem ser usados para priorizar investimentos em aquisição de peças e equipamentos, planejar a realização de intervenções de acordo com a conveniência operacional da planta ou, em casos extremos, a iminência de perda completa de sistemas de monitoração.
4. O conhecimento da importância operacional de cada prédio pode ser levado em consideração observando-se o comportamento do sistema de detecção em cada um, viabilizando a tomada de decisões de intervenção baseadas em critérios mais precisos.
5. Redução da probabilidade de eventos pela avaliação mais criteriosa da alteração de estado da instalação e sistemas, evitando a criação de cenários onde a fragilidade do sistema de detecção possa resultar em eventos de atuação de sistemas de combate a incêndio e possível indisponibilidade de sistemas e estruturas de segurança.

Exemplo: desligamentos de sistemas de ventilação provocam aumento de umidade nos dutos e salas afetadas.

## 2 - O SISTEMA EXISTENTE

### 2.1 - Descrição do Sistema de Alarme de Incêndio de Usinas PWR KWU/Siemens

#### 2.1.1 – Geral

O Sistema de Alarme de Incêndio consiste de uma rede de detectores automáticos, caixas de alarmes manuais conectadas a Estações de Alarme Locais e a uma Estação Central de Alarme.

Tem a função de prevenir danos devido a incêndio e suas conseqüências na Central Nuclear, tais como indisponibilidade funcional e perda de componentes da instalação.

O Sistema de Alarme de Incêndio tem várias tarefas, tais como: enviar alarmes de fogo e falha (acústico/visual) ao pessoal da Sala de Controle; identificar as áreas envolvidas; registrar os eventos e seu horário e atuar os sistemas/componentes contra incêndio tais como água nebulizada, CO<sub>2</sub>, gás extintor FM200 (substituto do Halon), portas corta-fogo automáticas e válvulas corta-fogo pelo Sistema de Atuação de Contra Incêndio – não pertinente ao Sistema de Alarme de Incêndio.

As linhas de alarme de incêndio são supervisionadas pelas Estações Locais e Centrais de Alarmes para detectar falhas, tais como quebra de fios, curtos-circuitos, e falhas/remoções de detectores.

Em caso de incêndio, alarmes serão transmitidos pelos detectores automáticos e/ou caixa de alarmes para as Estações Locais e para a Estação Central de Alarme via linhas de incêndio da seção de incêndio monitorada.

#### 2.1.2- Modo de operação

Ao receber um alarme de incêndio ou detectada uma falha, a Estação Central de Alarmes envia alarmes de grupo à mesa do operador da Sala de Controle, ao Sistema do Computador de Alarmes (CAS) e ao Sistema de Alarmes por Fio (HAS). Detalhes sobre o alarme detectado são obtidos pelo operador na Estação Central de Alarmes, que está localizada na Sala de Equipamentos junto à Sala de Controle e no painel de controle na mesa do operador.

A seção de incêndio pode ser imediatamente localizada e o princípio de incêndio pode ser combatido.

O alarme acústico pode ser cancelado quando o alarme de incêndio ou sinal de falha é reconhecido, onde a indicação visual é retida até que o alarme de incêndio ou de falha é sanado.

Uma impressora instalada próxima da Estação Central de Alarmes registra os alarmes e falhas que chegam indicando a data, hora e minuto da ocorrência.

Quando um detector ou caixa manual de alarmes é atuado, um sinal é disparado da linha de incêndio afetada, para um módulo de linha. Uma lâmpada de indicação do módulo começa a piscar e um alarme acústico é emitido. O número da linha de alarme é claramente indicado.

Em caso de linha pertencente à Estação Local de Alarme, esta Estação retransmite o alarme para a Estação Central de Alarme.

A Estação Central de Alarme envia o sinal de incêndio para o painel local na mesa do operador, e via contatos livres no Sistema do Computador de Alarmes (CAS), e pelo Sistema de Alarme por Fio (HAS) para alertar o supervisor de turno e operadores da Sala de Controle sobre a condição do incêndio. Na mesa do operador um painel visual e acústico chama atenção para os alarmes.

O operador cancela o alarme acústico e busca informações adicionais usando o Painel de Controle, na mesa do operador, incluindo as Estações Locais de alarme. De acordo com a informação concernente à localização do alarme, carga de incêndio, possibilidades de combate a incêndio, fornecida por programas de computador e informações recebidas de outros sistemas (p/ ex. Sistemas Elétricos, Sistemas Auxiliares do Reator), a ação apropriada será tomada. A primeira ação normalmente tomada é confirmar a existência do incêndio através do bombeiro mais próximo ao local alarmado, para eliminar falsos alarmes. O próximo passo poderia ser o de combate manual do incêndio, ou procedimento de evacuação, ou disparo de água nebulizada, CO<sub>2</sub>, gás de extinção FM200, fechamento de válvulas corta-fogo, e fechamento de portas corta-fogo, ou uma combinação de ações, de acordo com o manual preparado pela Área de Operação. Depois de esclarecido o alarme, o operador rearma o sistema usando o Painel de Controle. Em alguns prédios, a liberação do dispositivo de combate a incêndio é feita automaticamente ao chegar um sinal do Sistema de Alarme de Incêndio.

Em caso de alarme de falha, todo processo é simplificado. Ao receber um alarme de falha, o operador vai até a Estação Central ou Local de Alarmes ou verifica através do Painel de Controle para ver a razão da falha e seguindo instruções da Operação ou da Manutenção, iniciar procedimentos de teste. Ele testa a Estação Central e a Local de Alarmes, e em caso de necessidade, requisita imediata substituição do módulo ou outro equipamento ou reparo de linha pelo pessoal da Manutenção. O reconhecimento do alarme e rearme são similares ao acima descrito.

De acordo com as necessidades, um determinado detector ou uma linha inteira pode ser desabilitada até quando uma manutenção apropriada puder ser executada para

reparar o detector ou linha. A linha é habilitada novamente o mais rápido possível. A desabilitação e reabilitação devem ser registradas pelo pessoal da Operação.

### 2.1.3 – Descrição do circuito e arranjo de sistema, projeto e instalação

Os detectores cobrem todas as áreas com potencial risco de incêndio e equipamentos localizados e de acordo com as reais cargas de incêndio. Vários tipos de detectores são usados de tal forma a permitir detecção antecipada, assim provendo um rápido combate ao incêndio na área afetada. Detectores de fumaça do tipo ionização são usados para detectar partículas visíveis e invisíveis resultantes de combustão lenta; detectores óticos, para fumaças visíveis; detectores térmicos tais como os detectores de taxa de aumento e temperatura máxima são usados em casos especiais onde detectores padrão não são viáveis ou recomendados. Em situações especiais, detectores de fumaça com adaptadores de instalação em dutos de ventilação são previstos; eles podem ser do tipo ionizante dentro de um dispositivo de amostragem, ou do tipo para fumaça visual capaz de detectar fumaças espessas ou leves.

O número e tipo de detectores são determinados por requisitos especiais da área. Instalações de detectores devem considerar boa acessibilidade para testes e manutenção.

Toda área construída, incluindo salas de cabos, dutos e prumadas, é dividida em seções de incêndio, subseções de incêndio e salas isoladas e resistentes a fogo. Acima de certo nível de risco de incêndio, elas deverão ser servidas de uma ou mais linhas de alarmes de incêndio.

Caixas de alarme manual de incêndio são instaladas em lugares importantes de rotas de escape, tais como próximos a portas de escape ou dentro de escadarias. O projeto prevê linhas de alarmes separadas para caixas manuais de alarme.

Estações de Alarme de Incêndio são supridas com 230V CA. Na falha desta alimentação, baterias de 24V CC, conectadas a retificadores (ambos dentro dos cubículos) suprem alimentação. Isto assegura suprimento contínuo de energia ao Sistema de Alarme de Incêndio. As Estações Locais de Alarme são independentes da Estação Central de Alarme e de outras (autônomas/autárquicas).

Influências operacionais tais como calor, radiações ionizantes ou umidade não devem atrapalhar o funcionamento do Sistema de Alarme de Incêndio.

## 2.2 – Descrições de equipamentos

A Estação Central de Alarmes é montada em painéis exclusivos com portas e travas, também na parte traseira caso necessário, para ser fixada ao piso com a firmeza necessária.

A descrição abaixo tenta dar o mínimo de características, não sendo exaustiva.

Alarmes transmitidos por linhas de alarmes deverão ser indicados visualmente e acusticamente (piscando e intermitentemente respectivamente em caso de alarme de incêndio; contínuo em caso de falha). O alarme acústico pode ser cancelado quando um incêndio ou falha é reconhecido, considerando que o sinal visual é retido até que o alarme ou falha seja esclarecido. A sinalização do alarme é conforme a Norma DIN 19235 ou práticas normativas para equipamentos de alarme de incêndio.

A Estação Central de Alarme contém circuitos de teste para auto-verificação, teste das linhas de alarme de incêndio e o próprio equipamento para um funcionamento apropriado, de forma que permita um procedimento de teste através de todo o sistema.

A Estação Central de Alarmes deve monitorar todas as linhas de alarmes de incêndio para detecção de falhas, tais como quebras de fio, curto-circuito, e falhas de detectores e remoção de detectores. Esta monitora a si mesma contra remoção de módulos, falhas de suprimento de energia. Estes eventos de falha no sistema podem provocar uma falha distinta de alarme de falha na Estação Central de Alarmes (visual e acústico), que aparecem nos painéis de controle.

A Estação Central de Alarme incorpora um painel com módulo de saída para as funções de interface dos módulos de detecção e alarmes de incêndio com o Sistema de Atuação Contra-Incêndio (não faz parte do Sistema de Alarme de Incêndio) que tem a função de atuar as válvulas de água nebulizada e dilúvio, gás de extinção e controle de acionamento de CO<sub>2</sub>, dispositivos eletromagnéticos de portas automáticas corta-fogo e Sistema de Controle de Válvulas Corta-fogo e supervisionar as suas atuações.

A Estação Central de Alarme incorpora uma impressora de eventos com a função de registrar todos os eventos de alarme de incêndio, de falhas, e de testes.

O Arquivo de Dados de Alarme de Incêndio fornece informações sobre as instalações de proteção contra-incêndio para o pessoal de operação e brigada de incêndio. Em caso de alarmes ele apresenta o plano da linha de incêndio alarmada com as salas relacionadas.

Condições de Instalação:

Para instalações externas de equipamentos foram consideradas as seguintes condições ambientais:

Temperaturas extremas do ar	9,9 e 39,5°C
Temperatura média mensal	18,9 a 26,1°C
Temperatura média do ar	23,3°C
Índice pluviométrico anual	1400 a 1900 mm
Umidade	55 a 100% Presença de partículas de sal no ar

Tabela 2: Condições ambientais externas de projeto dos detectores de incêndio

Para instalações internas de equipamentos foram consideradas as seguintes condições ambientais:

Temperatura ambiente:

Temperatura média máxima em 24h	35°C	
Temperatura máxima instantânea	40°C * - ver nota	
Umidade relativa	a 40°C a 35°C	100% * - ver nota 75%

Tabela 3: Condições ambientais internas de projeto dos detectores de incêndio

Para critério de projeto, uma temperatura de 40°C foi adotada.

\*Nota- Em caso de falha do sistema de ar condicionado

### 2.3 - Linhas de Alarme de Incêndio

As linhas de alarme de incêndio são projetadas considerando a divisão da usina em seções de incêndio, subseções e salas isoladas resistentes ao fogo, e consideram a acessibilidade à sala, requisitos especiais da instalação (a propósito, equipamento de extinção fixo), e a capacidade de rápida localização da origem do incêndio.

Cada seção de incêndio é servida por pelo menos uma linha de alarme de incêndio. Não é permitido que duas seções de incêndio sejam servidas pela mesma linha de alarme de incêndio, mas diferentes subseções de incêndio podem ser atendidas pela mesma linha.

Dependendo da tecnologia do equipamento, uma linha de alarme de incêndio não pode ter mais de 20 detectores. Além dos limites de consumo, torna-se difícil localizar o incêndio rapidamente ao se percorrer a linha. Em equipamentos mais recentes, não há mais limitação, uma vez que eles podem identificar o detector alarmado individualmente.

## 2.4 - Detectores de Incêndio no Sistema de Alarme de Incêndio

Os detectores de incêndio projetados para o Sistema de Alarme de Incêndio utilizado nas usinas KWU-Siemens, especialmente as da série KONVOI, são:

### 2.4.1- Detectores de fumaça - tipo ionização

Como descrito por MOERMAN (1989), é constituído de uma câmara de ionização aberta que controla o ar ambiental (câmara de medição), de uma câmara de referência hermeticamente fechada contendo uma fonte de radiação (Amerício 241) e, finalmente de um dispositivo eletrônico de alta impedância de entrada, cuja função é transmitir os sinais à central de alarme.

Seu funcionamento baseia-se no princípio da modificação da condutibilidade do ar da câmara de ionização, provocada por uma fonte de radiação (alfa).

A aplicação de uma tensão elétrica provoca a condutibilidade elétrica do ar ionizado na câmara de medição do detector.

A penetração de partículas de combustão na câmara de medição impede a circulação normal de corrente. É precisamente esta variação de corrente amplificada que é enviada à central de alarme.

O sensor detecta tanto as fumaças visíveis quanto os gases invisíveis. Por este motivo é chamado de “detector universal”.

No SISTEMA DE ALARME DE INCÊNDIO estes são identificados pelos códigos:

- BR800 - para técnica de pulsos
- BR910 – para técnica convencional
- F911-EX – para áreas classificadas ( à prova de explosão), técnica convencional

Faixa de operação: -20° C a +60° C

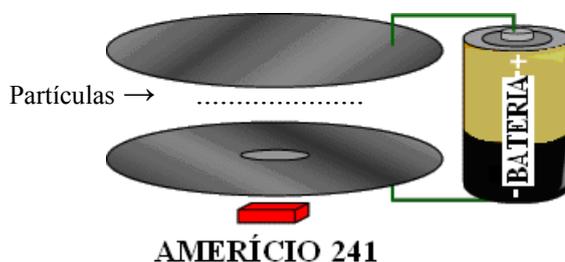


Figura 2 – Princípio de funcionamento de um detector tipo ionização

## 2.4.2 - Detectores óticos de fumaça

Esses detectores funcionam pela presença de fumaça visível por reflexão do feixe, MOERMAN (1989). Possuem uma fonte luminosa e uma célula fotossensível no interior do detector. A presença de fumaça faz com que o alarme seja ativado.

A célula é posicionada de tal forma que ela não “observa” diretamente a fonte luminosa, mas sim através do reflexo de partículas de fumaça, que quando entram no raio da fonte aumentam o sinal da fotocélula.

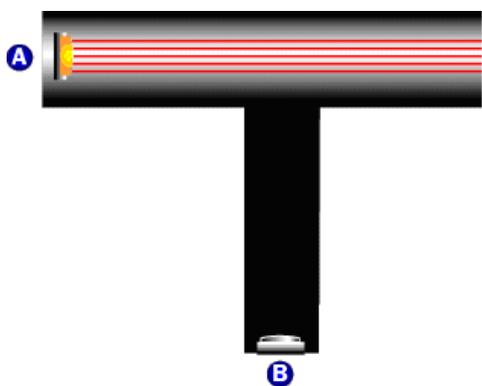
A intensidade e as características óticas das partículas de fumaça são predominantes para a grandeza do sinal, sendo o mesmo proporcional ao tamanho das partículas. Como a presença de fumaça é medida através do reflexo, observam-se com mais facilidade as partículas claras do que às escuras.

O detector ótico de fumaça caracteriza-se, portanto, por identificar fumaça, contendo partículas visíveis.

Nos SISTEMA DE ALARME DE INCÊNDIO estes são identificados pelos códigos:

- BR12 - para técnica convencional
- BR82 - para técnica de pulsos.

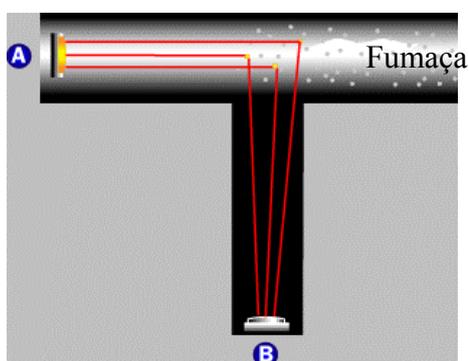
Faixa de operação: 3-4%/m e temperatura ambiente de -20° C a +60° C



A – fonte luminosa

B – Sensor ótico

Figura 3 – Detector ótico sem presença de fumaça



A – fonte luminosa

B – Sensor ótico

Figura 4 – Detector ótico com presença de fumaça

### 2.4.3 - Detectores térmicos e termovelocimétricos

Sua aplicação está prevista somente em lugares onde detectores mais sensíveis não podem ser usados, ou em áreas onde podem ocorrer elevações muito bruscas de temperatura conforme NBR 9441 (1998) e MOERMAN (1989).

Trata-se de um detector combinado termovelocimétrico e termo estático, reagindo sob o efeito de uma elevação brusca de temperatura por unidade de tempo (8 a 10°C/min) e, por outro lado, quando a temperatura ambiental atingir o limite de temperatura máxima pré-ajustada (70°C), isto é, qualquer que seja a velocidade de elevação da temperatura.

Uma elevação de temperatura ambiental modifica o equilíbrio de dois receptores térmicos. Trata-se de duas resistências em série, com coeficientes de resistência negativos (ou termistância), cujo valor ôhmico diminui com o aumento de temperatura.

Um destes receptores térmicos, também chamado de receptor de medição, encontra-se em contato com o ar ambiental, enquanto que o outro, servindo de valor de referência está em uma câmara chumbada hermeticamente fechada. O captador de medição tem um tempo de reação mais curto que o captador de referência.

Um circuito apropriado avalia então esse equilíbrio e provoca o alarme quando o sinal ultrapasse um valor prefixado. Entretanto, se a temperatura progressivamente, os dois elementos reagem de maneira sincrônica, não provocando nenhuma reação, a menos que a temperatura atinja o limite de 70°C.

O detector termovelocimétrico é utilizado em locais onde o processo diário de trabalho gera gás de combustão ou fumaças e vapores.

Nos SISTEMA DE ALARME DE INCÊNDIO estes são identificados pelo código:

- BD857 – para técnica de pulsos.

Faixa de operação  $T > 45^{\circ}\text{C}$  ou elevação de temperatura  $dT/dt > 10^{\circ}\text{C}/\text{min}$

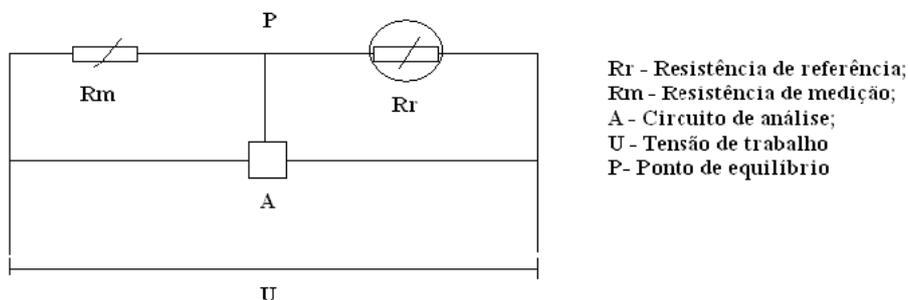


Figura 5 - Princípio de funcionamento de um detector termovelocimétrico

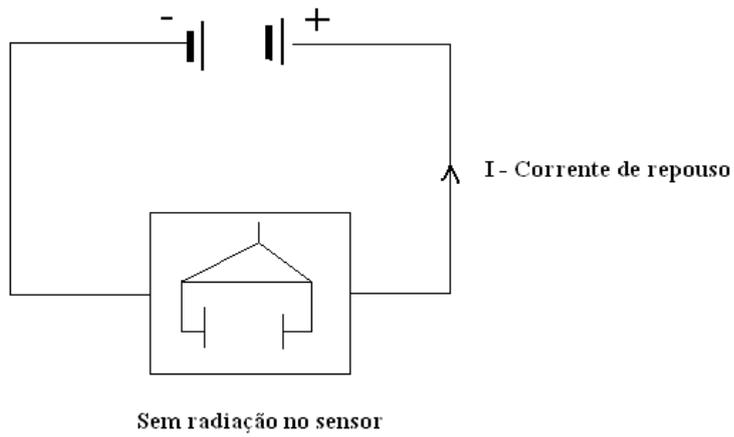


Figura 6 - Detector termovelocimétrico sem variação de temperatura

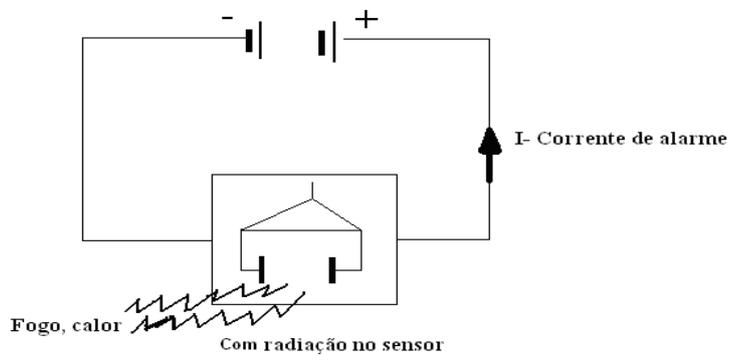


Figura 7 - Detector termovelocimétrico com variação de temperatura

### 3 – PESQUISAS DE DADOS DE FALHAS DE DETECTORES DE INCÊNDIO E CÁLCULO DA CONFIABILIDADE

#### 3.1 - Pesquisa de dados de falha

A pesquisa de dados de falha foi realizada no Sistema Computadorizado de Controle de Trabalho (MAXIMO), largamente utilizado em plantas industriais e nucleares. Os dados foram compilados das ordens de trabalho executadas entre janeiro de 2000 a dezembro de 2008, não sendo aplicável fazer qualquer correlação com uma única instalação ou usina, podendo ser oriundos de plantas nacionais ou estrangeiras visto a similaridade com usinas KONVOI da KWU-Siemens.

Os edifícios e estruturas de uma usina KWU-Siemens são normalmente designados por códigos de sistema de identificação denominado KKS. Os principais edifícios da usina foram objetos deste estudo, sendo necessária a sua identificação em KKS para melhor agilidade do estudo:

Para consultar as tabelas, vide APÊNDICE.

#### 3.2 – Cálculos de confiabilidade e taxas de falha

O método utilizado para o tratamento dos dados de falha foi o de Análise Não Paramétrica para Dados Agrupados.

A análise não paramétrica permite que a pessoa caracterize os seus dados de vida sem supor uma distribuição subjacente. Isto pode ser vantajoso, pois evita alguns dos perigos inerentes em uma análise onde uma distribuição imprópria é suposta. Entretanto, a análise é limitada às estimativas da confiabilidade para a escala do conjunto de dados, fazendo com que se torne impossível fazer predições da confiabilidade fora desta escala, RELIASOFT (2007).

Tendo em vista que os dados foram obtidos de experiência de campo, e na forma mais simples, consistem em número de itens que falharam em intervalos de tempo iguais LEWIS(1994).

Os cálculos de confiabilidade são feitos com base na fórmula (3.1)

$$\hat{R}(t_i) = n_i / N, i = 1, 2, \dots, M; \quad (3.1)$$

onde:

$t_i$  é o instante da falha

$n_i$  é o número de sobreviventes

$N$  é o total da população de detectores

Para obter a função de falha foi usada a expressão (3.2)

$$\hat{f}(t) = \frac{n_i - n_{i+1}}{(t_{i+1} - t_i)N'}; t_i < t < t_{i+1} \quad (3.2)$$

onde :

$t_i$  é o instante da falha

$t_{i+1}$  é o instante da próxima falha

$n_i$  é o número de falhas do intervalo  $i$

$n_{i+1}$  é o número de falhas do próximo intervalo de falha  $(i+1)$

$N'$  é o total da população de detectores

Onde  $n_i$  foi substituído por  $N$ , devido ao fato de que o inventário de detectores desta pesquisa não decresce à medida que detectores falham, mas são substituídos por novos ou detectores reparados à condição de novo.

E finalmente para obter a taxa de falhas usamos a expressão (3.3)

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n_i - n_{i+1}}{(t_{i+1} - t_i)n_i}; t_i < t < t_{i+1} \quad (3.3)$$

Onde:

$t_i$  é o instante da falha

$t_{i+1}$  é o instante da próxima falha

$n_i$  é o número de falhas do intervalo  $i$

$n_{i+1}$  é o número de falhas do próximo intervalo de falha  $(i+1)$

$N'$  é o total da população de detectores

Da mesma forma se procedeu nesta expressão, substituindo  $n_i$  por  $N$ , pelo mesmo motivo.

As tabelas com os dados de falha (ver Apêndice) estão organizadas por edifício. Estas tabelas foram usadas como base para a construção de gráficos de confiabilidade e taxas de falha de detectores de incêndio.

As tabelas dividem os períodos de observação em aproximadamente 90 dias, de forma que para os cálculos de taxa de falha em horas foi necessária a multiplicação por um fator de 730h (= 365dias x 24horas / 12 meses), para evitar o problema de meses com 31, 30 e 28 dias respectivamente, considerando um ano típico de 365 dias.

### 3.3 - MAPEAMENTO DAS TAXAS DE FALHA DA USINA POR EDIFÍCIO:

A seguir, foram elaborados os gráficos de confiabilidade e taxas de falha de detectores de incêndio das edificações e estruturas de Usina KWU - Siemens 1350 MWe. Após os gráficos de pelo alguns edifícios foram incluídas as análises das causas para exemplo de utilização dos dados levantados devido às suas características especiais e importância operacional. Para as demais edificações foram apenas apresentados os gráficos.

Para comparação, foram utilizadas taxas de falha de fonte genérica para detectores de fumaça, com valor mínimo de  $4 \times 10^{-6}$ /ano e máximo de  $8 \times 10^{-6}$ /ano SEIXAS/QUALTEC (2007).

#### 3.3.1— Estrutura da Tomada D'Água de Segurança- 1-2 UQB

O 1-2 UQB é uma estrutura de captação de água do mar para resfriamento dos componentes da Cadeia de Remoção de Calor do Núcleo, sendo responsável pela refrigeração dos principais equipamentos de segurança da usina.

Os gráficos encontrados para confiabilidade e taxas de falha foram:

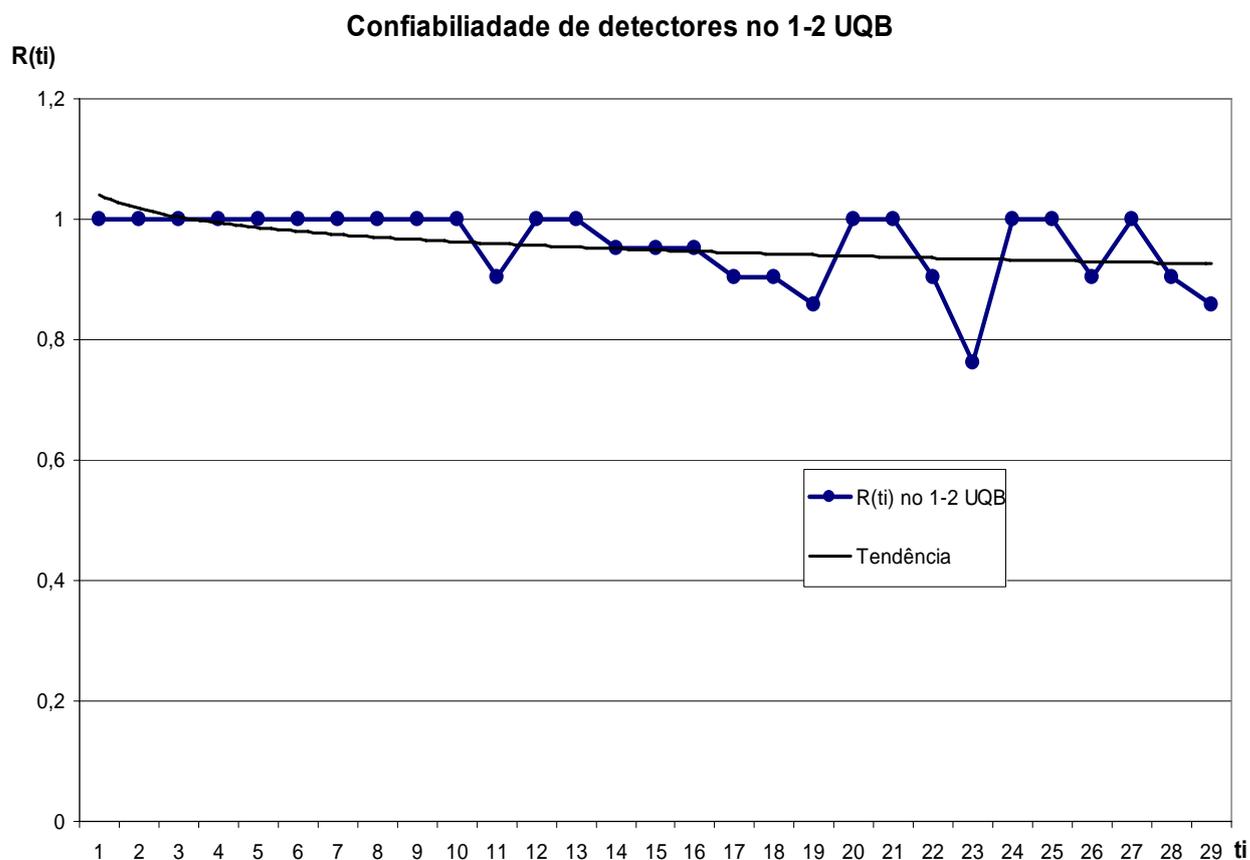


Figura 8 – Gráfico da confiabilidade de detectores no 1-2UQB.

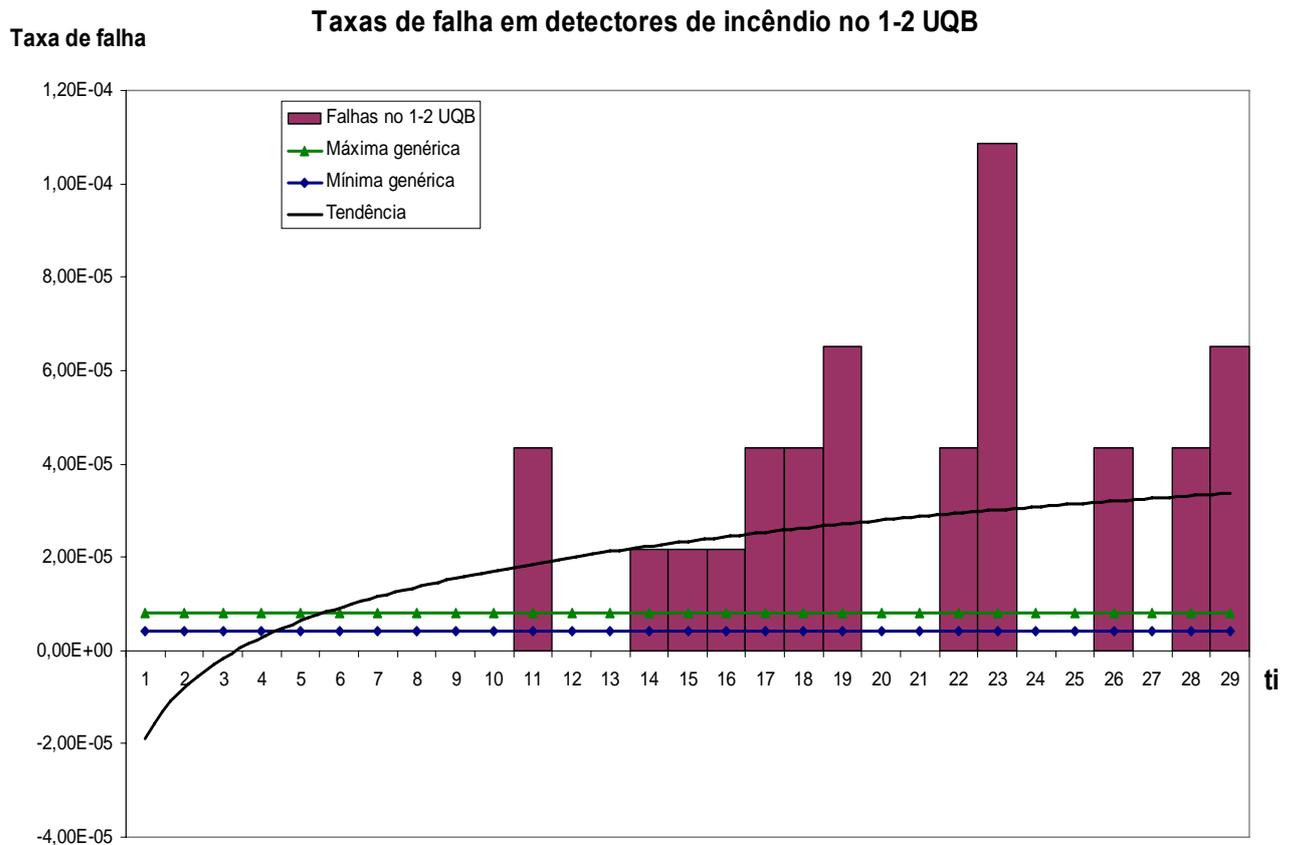


Figura 9 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no 1-2UQB

Análise dos dados de falha do 1-2UQB:

- A- No período observado pode-se destacar uma redução contínua da confiabilidade, um número de falhas com tendência ao crescimento. As taxas de falha do prédio também crescem, levando à conclusão de que a freqüência de falha tende a aumentar e o Tempo Médio Até a Falha (MTTF) tende a reduzir.
- B- A principal causa de falhas de detectores neste prédio é a ocorrência de condensação devido à umidade, provocada pelos pequenos vazamentos de água do mar nas salas oriundos de sistemas de gaxetas ou selagem de bombas ou resultante de atividades de manutenção. A corrosão de detectores é acentuada pela presença de água salgada nas salas.
- C- A interrupção de funcionamento dos sistemas de resfriamento e recirculação de ar das salas deste prédio provoca estagnação e aumentam o aparecimento de umidade. A freqüência de manutenção das bombas que suprem à fonte fria dos resfriadores implica diretamente na freqüência de desligamento e aumento da taxa de falha.

### 3.3.2 - Galerias de Cabos do Edifício de Água de Alimentação e Suprimento de Potência de Emergência 2 - 1-4ULZ

Estas estruturas são subterrâneas e são responsáveis pela condução de cabos de alimentação elétrica e de controle de equipamentos de segurança supridos pelo sistema de geradores diesel de emergência 2 do edifício ULB, redundâncias 5 a 8.

Os gráficos encontrados para confiabilidade e taxas de falha foram:

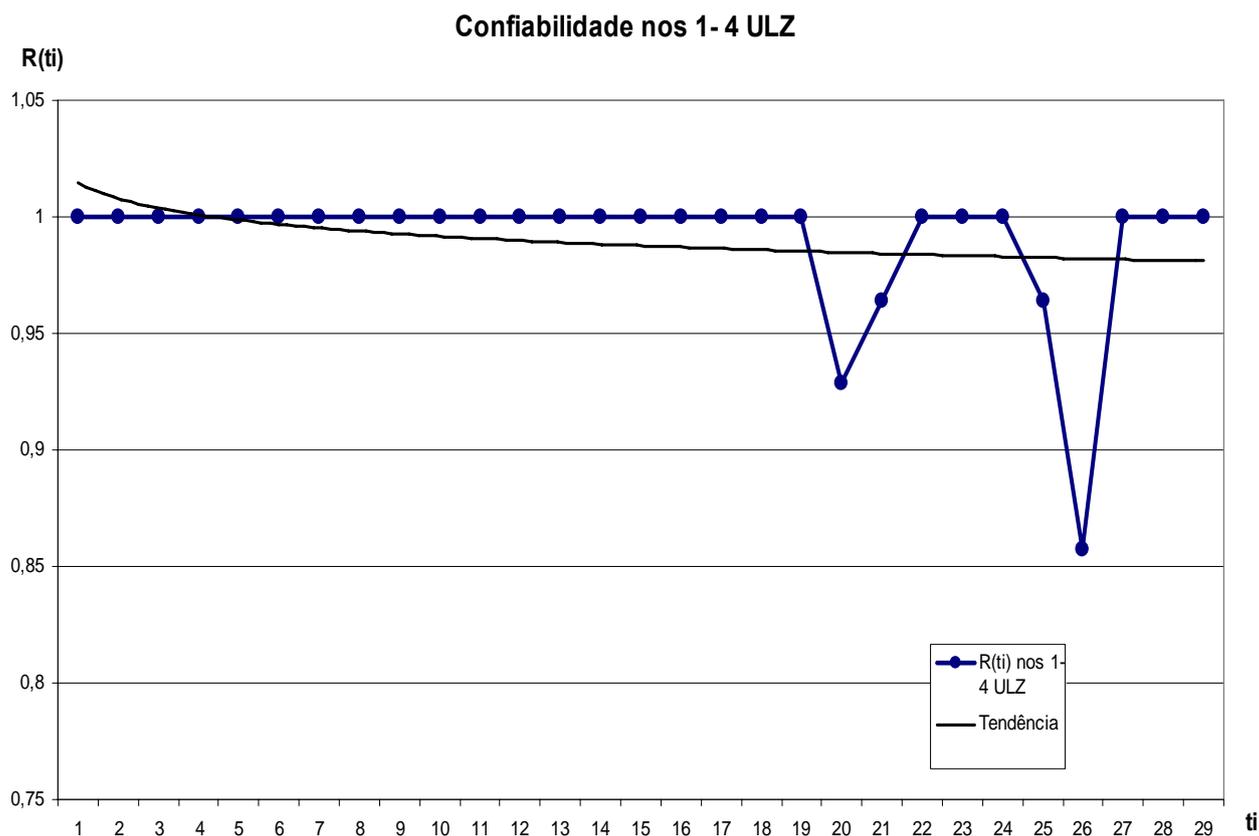


Figura 10 – Gráfico da confiabilidade de detectores no 1-4ULZ

Análise dos dados de falha dos 1-4ULZ:

A confiabilidade tem tendência de queda, devido a umidade em detectores pelos desligamentos de sistemas de ventilação e ar condicionado. A intervenção em ventiladores de caráter preventivo feito em frequência elevada provoca aumento da umidade e das ocorrências de falha em detectores de incêndio.

### Falhas em detectores de incêndio nos 1-4 ULZ

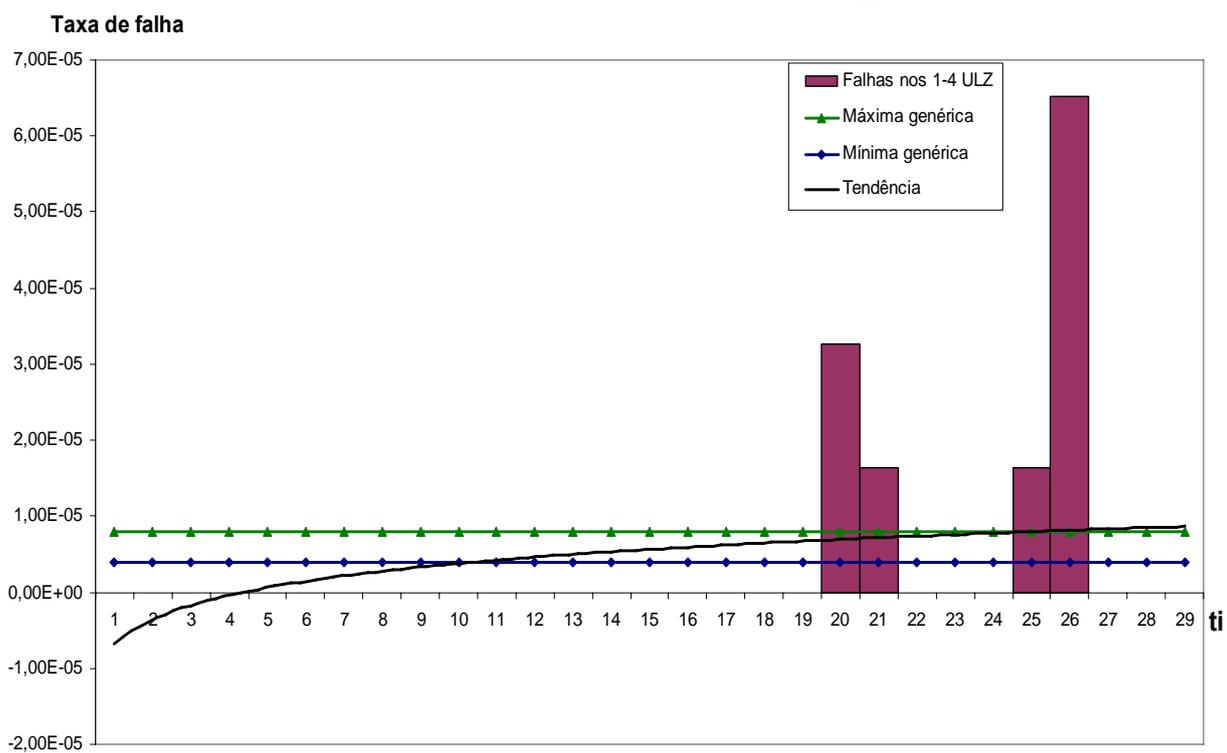


Figura 11 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no 1-4ULZ

### 3.3.3 - Galerias de Cabos do Edifício da Turbina - 1-4 UMZ

Estas estruturas são subterrâneas e são responsáveis pela condução de cabos de alimentação elétrica e de controle de equipamentos do edifício de controle ao edifício da turbina.

Os gráficos encontrados para confiabilidade e taxas de falha foram:

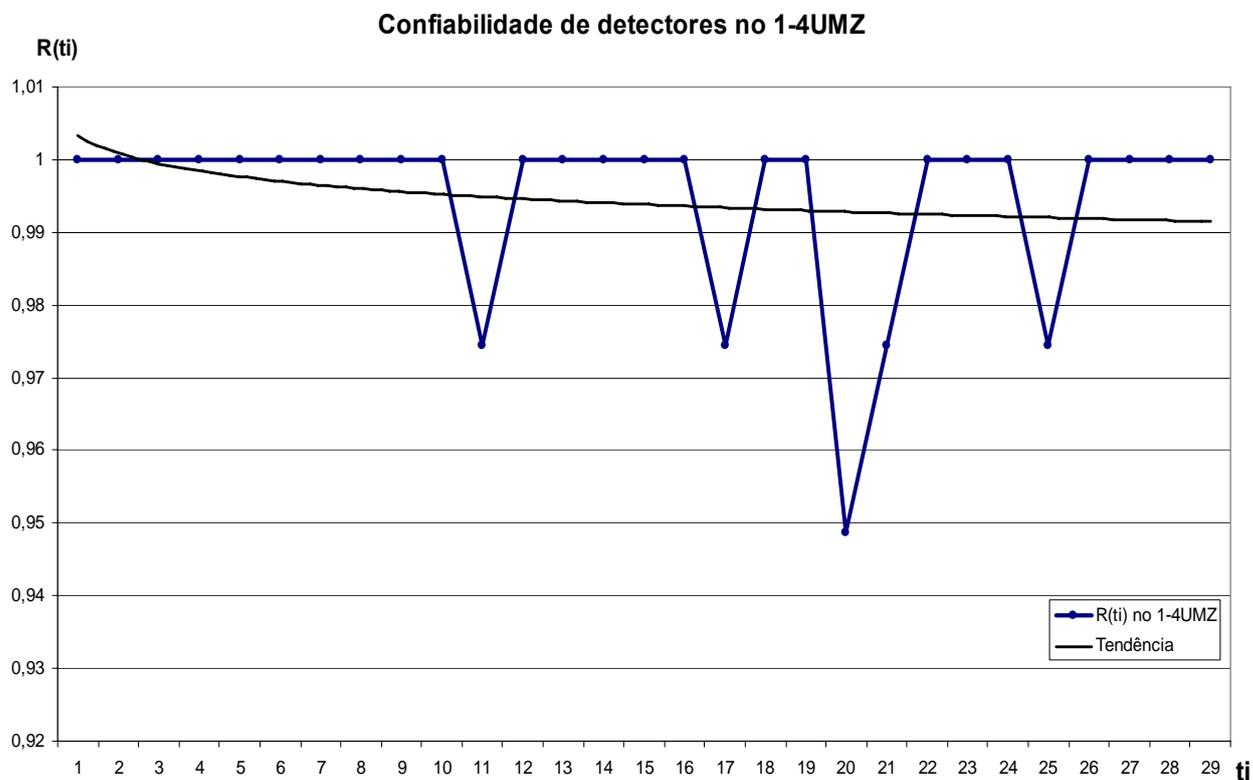


Figura 12 – Gráfico da confiabilidade de detectores no 1-4UMZ

#### Análise dos dados de falha dos 1-4 UMZ

- A- Observa-se que a confiabilidade tem tendência de queda, mas está relacionada a eventos de baixa frequência, possivelmente devido a desligamentos de sistemas de ventilação e ar condicionado visto que sua ocorrência é eventual.
- B- A intervenção em ventiladores de caráter preventivo feito em frequência elevada provoca aumento da umidade e das ocorrências de falha em detectores de incêndio.

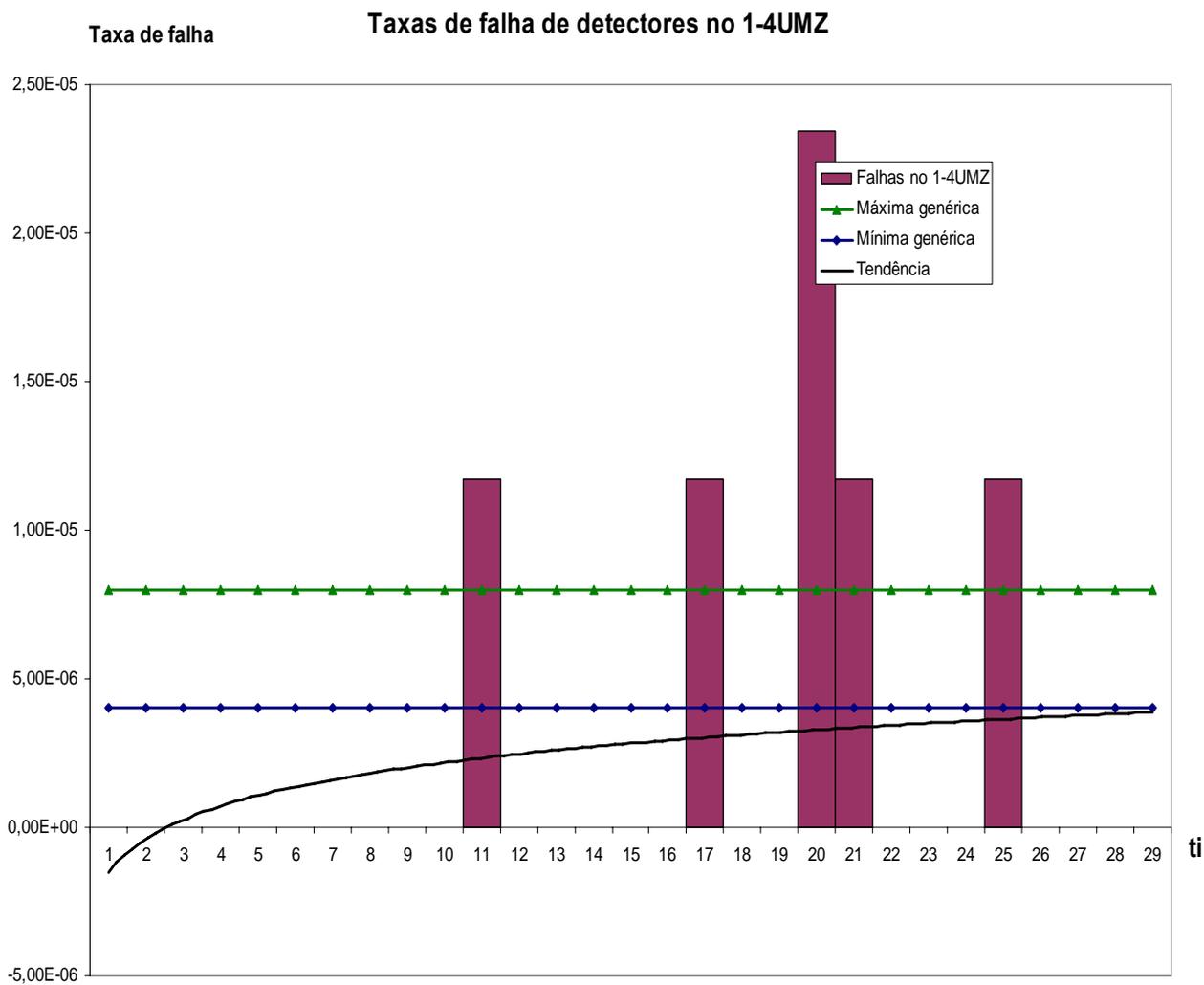


Figura 13 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no 1-4UMZ

### 3.3.4 - Galerias de cabos do Edifício de Controle -1-9 UBZ

Estas estruturas são subterrâneas e são responsáveis pela condução de cabos de alimentação elétrica e de controle de equipamentos do edifício de controle ao transformador auxiliar, edifício da do gerador diesel de emergência 1 e transformadores abaixadores de tensão.

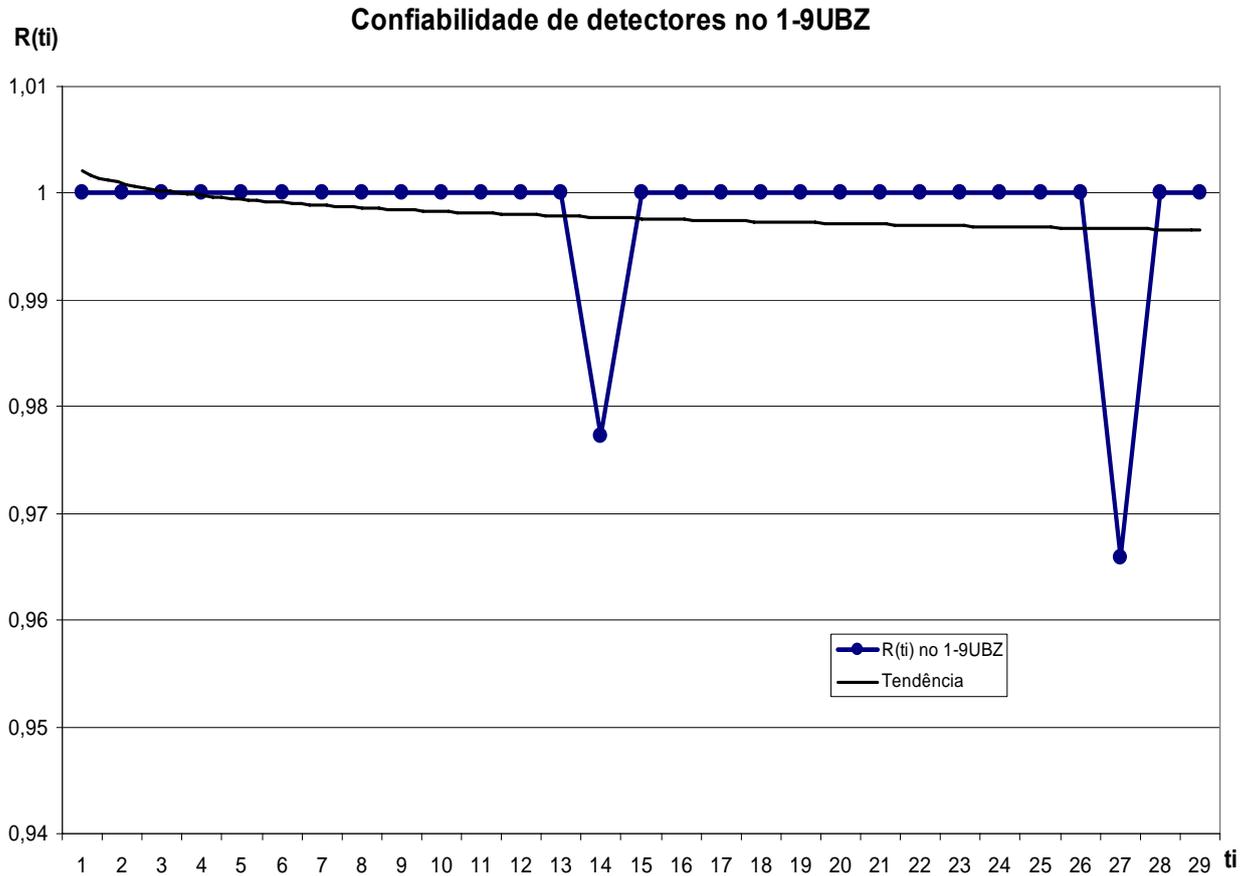


Figura 14 – Gráfico da confiabilidade de detectores no 1-9UBZ

Análise dos dados de falha do 1-9UBZ:

- A- Observa-se que a confiabilidade tem tendência de queda, mas está relacionada a eventos de baixa frequência, possivelmente devido a desligamentos de sistemas de ventilação e ar condicionado visto que sua ocorrência é eventual.
- B- A intervenção em ventiladores de caráter preventivo feito em frequência elevada provoca aumento da umidade e das ocorrências de falha em detectores de incêndio

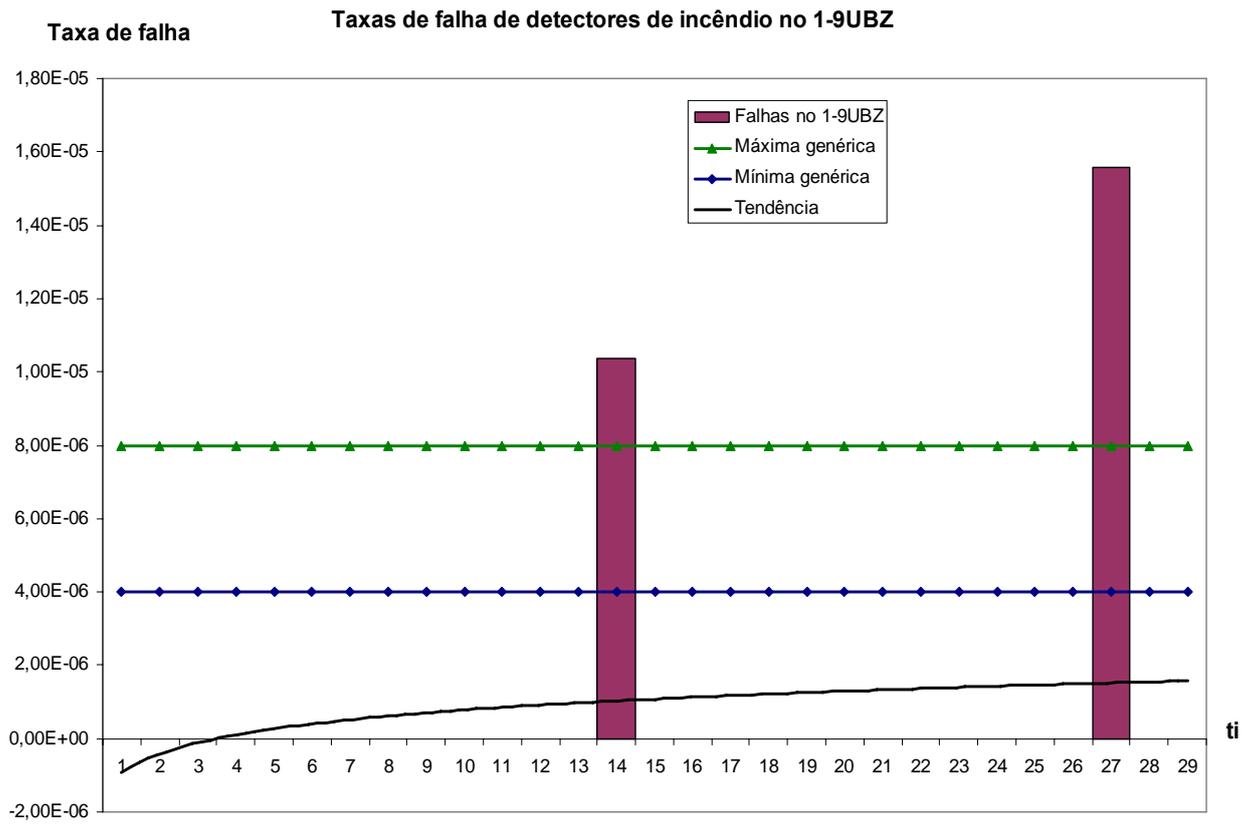


Figura 15 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no 1-9UBZ.

### 3.3.5 - Edifício de Controle - UBA

Este edifício abriga os painéis distribuidores de energia e comando para os principais componentes da usina. Neste edifício se encontra a sala de controle.

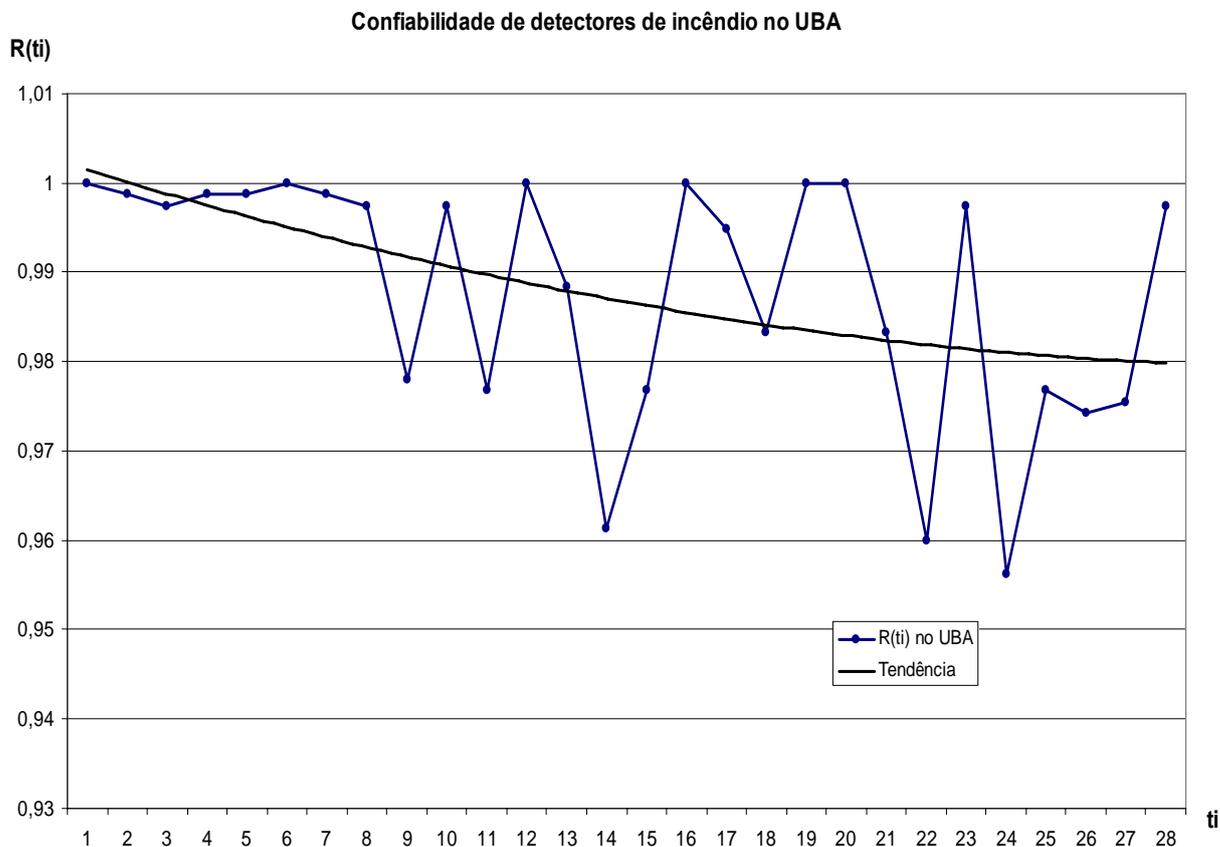


Figura 16 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UBA.

Análise dos dados de falha do UBA:

- A- Observa-se que a confiabilidade tem tendência de queda, e está relacionada a eventos de elevada frequência, possivelmente devido a desligamentos de sistemas de ventilação e ar condicionado. Também o funcionamento deficiente de portas permitindo a entrada de ar quente para o interior do prédio climatizado provoca aumento de condensação nos corredores próximos.
- B- A intervenção em ventiladores de caráter preventivo feito em frequência elevada provoca aumento da umidade e das ocorrências de falha em detectores de incêndio.

### Taxas de falha em detectores de incêndio no UBA

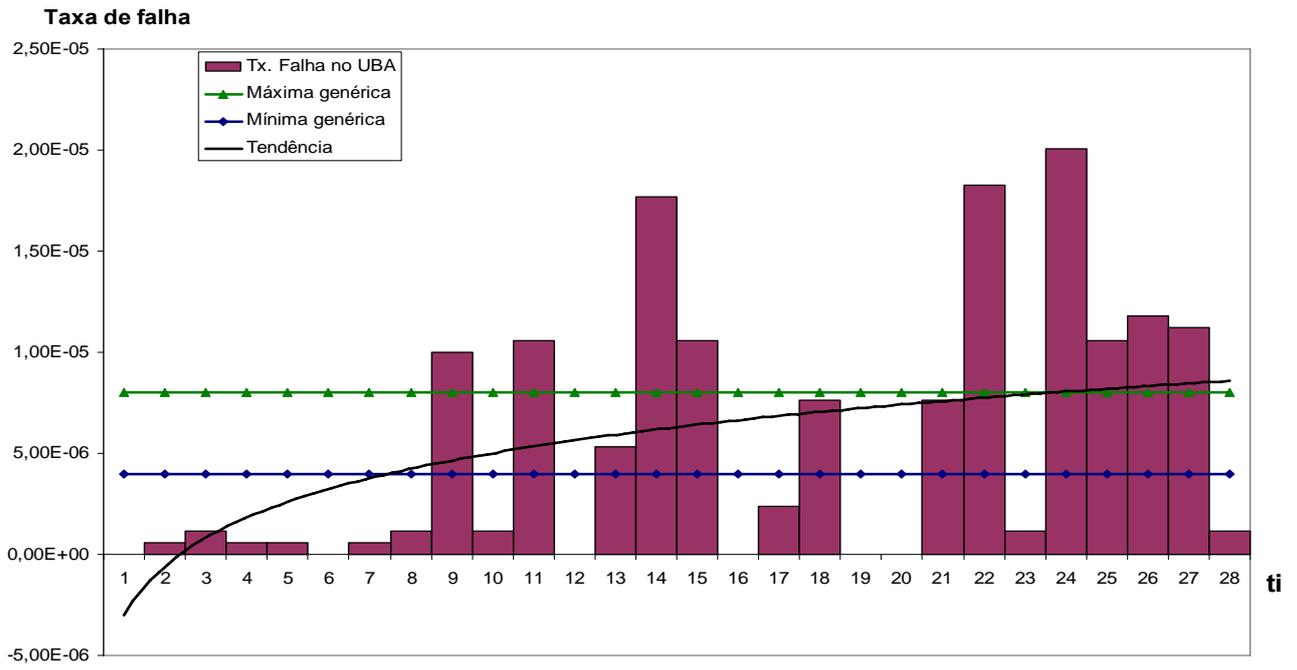


Figura 17 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UBA.

### 3.3.6 – Área de Instalação e Baías dos transformadores

UBC – Área do Transformador do Suprimento Auxiliar - BCT

UBE – Baías dos Transformadores de Tensão de Saída (BAT)

UBF – Baías dos Transformadores de Suprimentos aos Sistemas Auxiliares - BBT

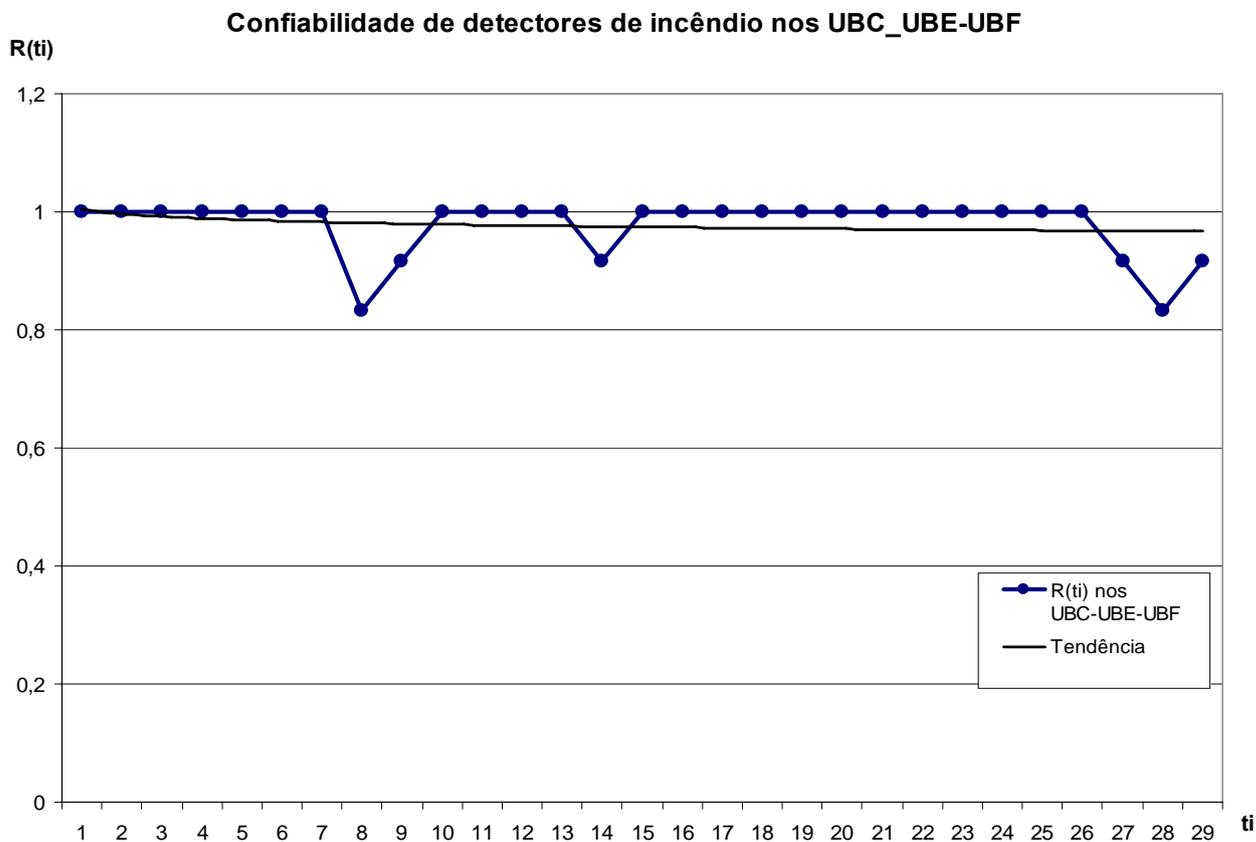


Figura 18 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UBC, UBE, UBF.

Análise dos dados de falha do UBC, UBE, UBF:

Observa-se que a confiabilidade tem tendência de queda, mas está relacionada a eventos de baixa frequência, possivelmente devido a oxidação de contatos de detectores na área externa, sujeita a salinidade e exposição às chuvas.

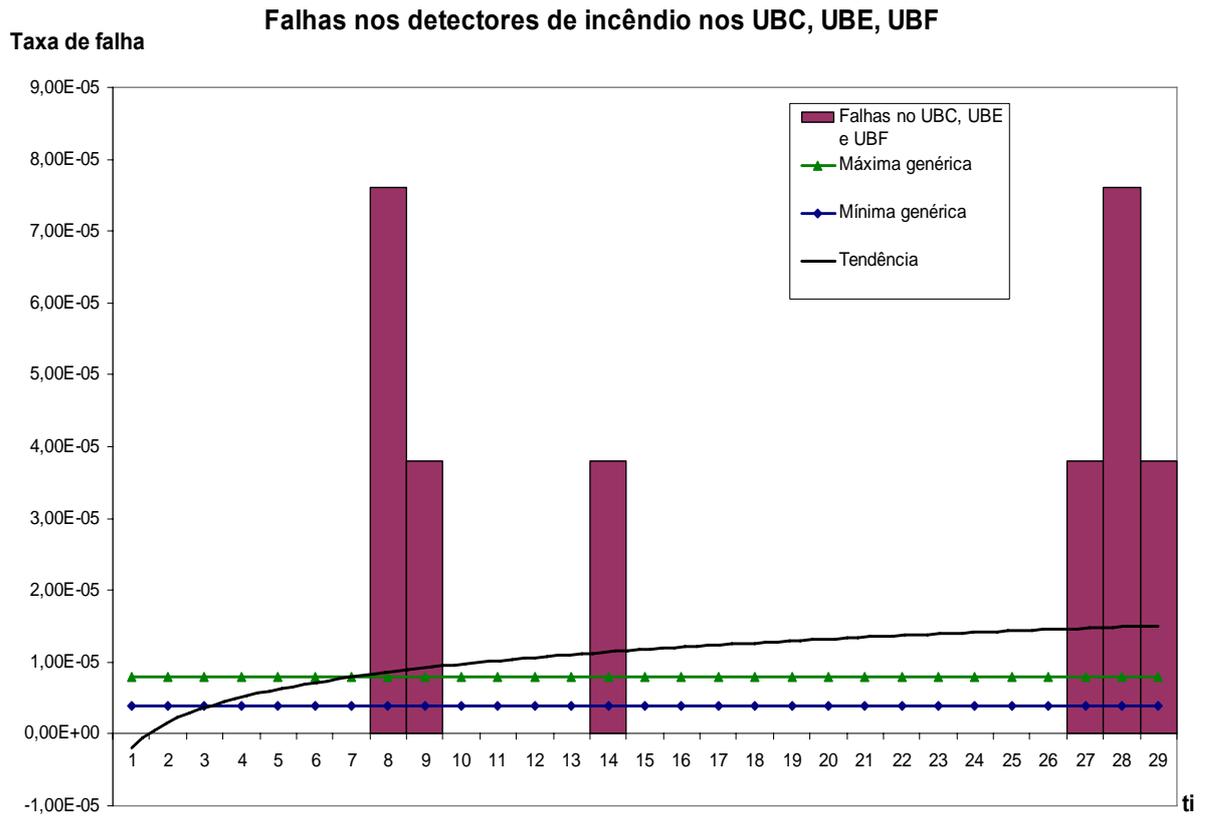


Figura 19 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UBC, UBE, UBF.

### 3.3.7 - Baias dos Transformadores de Baixa Tensão – BHT/BFT - UBD

Estruturas abertas e com ventilação natural onde estão instalados os transformadores de baixa tensão. Área coberta, mas sujeita às variações climáticas da área externa.

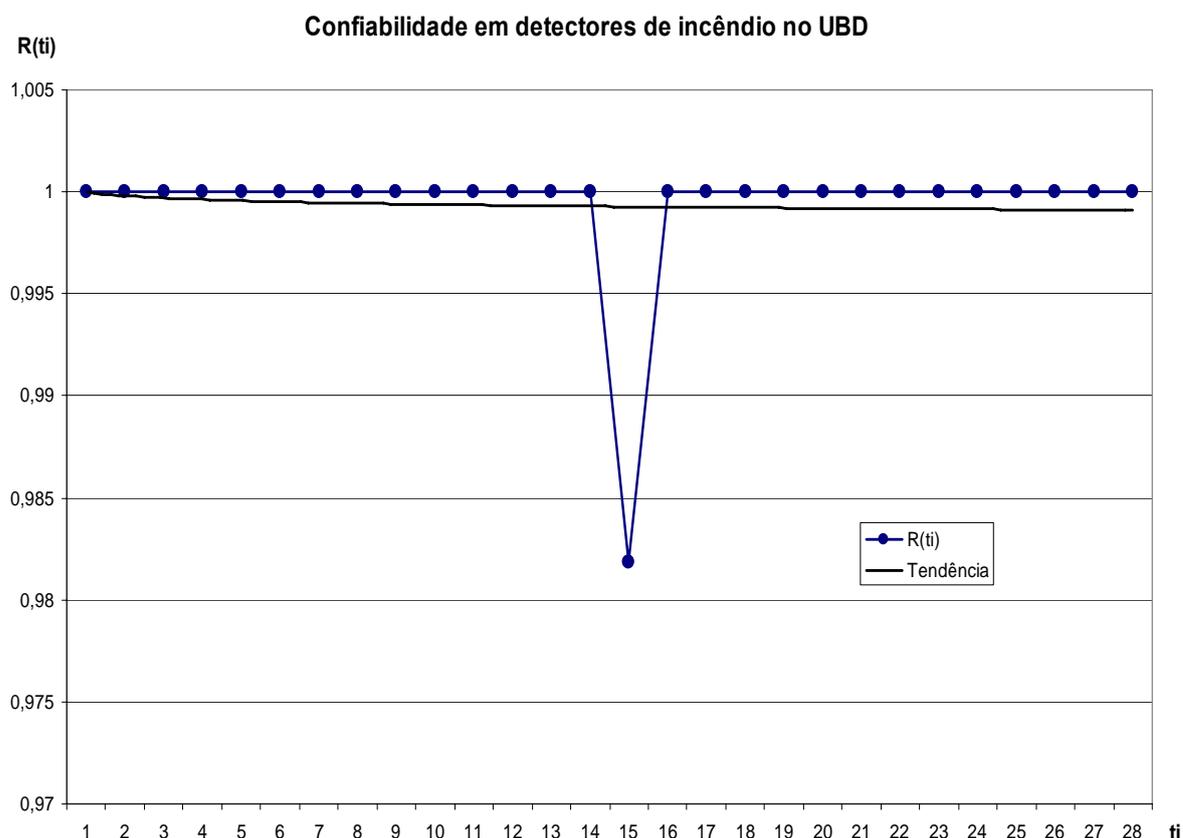


Figura 20 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UBD.

Análise dos dados de falha do UBD:

Observa-se que a confiabilidade tem tendência suave de queda, mas está relacionada a eventos de baixa frequência, possivelmente devido à oxidação de contatos de detectores na área externa, sujeita a salinidade e exposição às chuvas. No entanto com menor frequência que nas áreas descobertas. O local de instalação é mais distante de correntes de ar vindas diretamente do mar proporciona, podendo ser responsável pela diferença de comportamento em relação aos instalados na área externa.

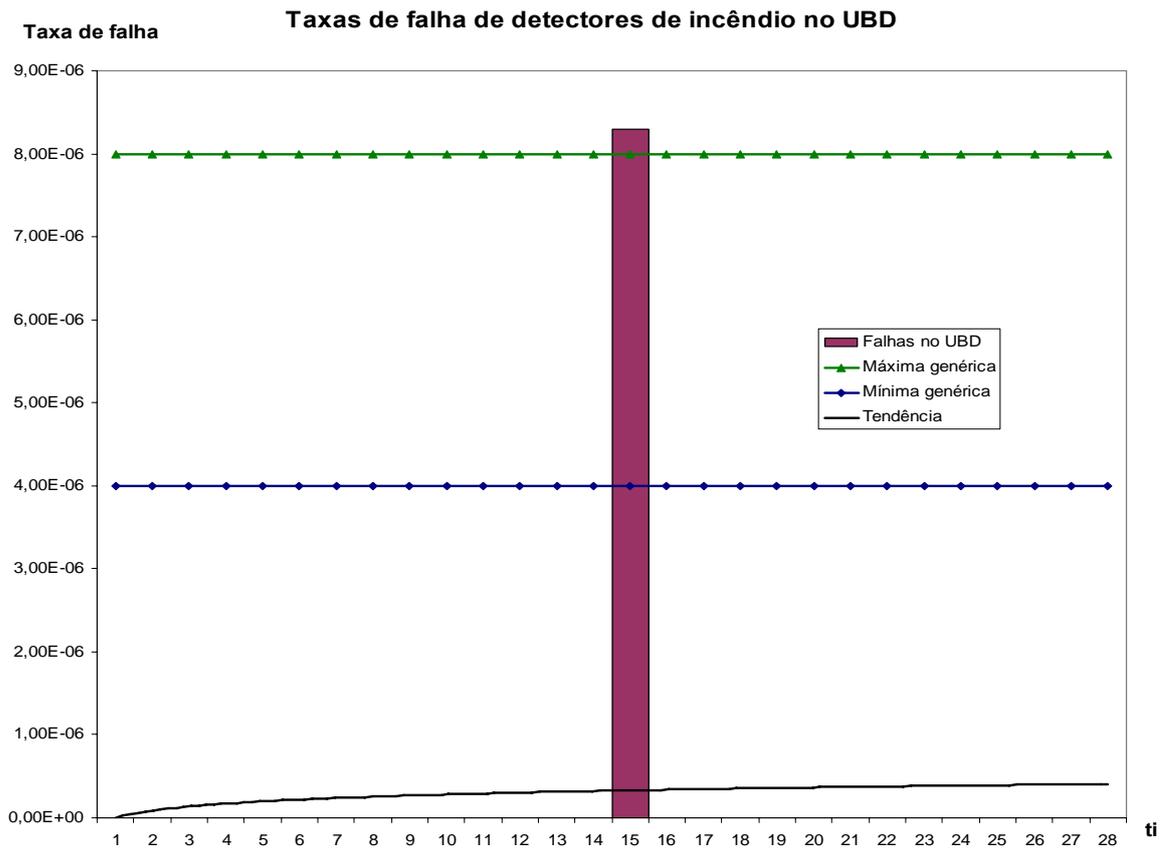


Figura 19 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UBD

### 3.3.8 - Edifício de Suprimento de Potência de Emergência e da Central de Água Gelada - UBP

Edifício que abriga os geradores diesel de emergência 1 e as máquinas de água gelada para refrigeração dos prédios da usina.

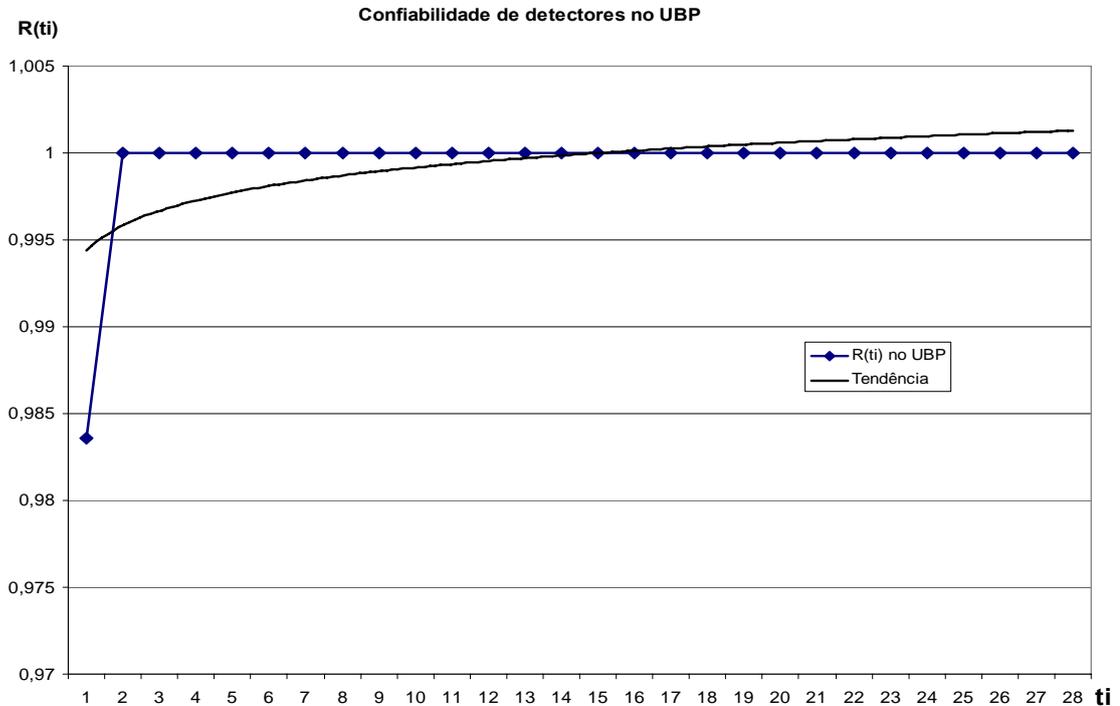


Figura 22 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UBP.

Análise dos dados de falha do UBP:

Observa-se que a confiabilidade tem tendência de aumento em relação ao início da operação do sistema, podendo estar relacionada a ajustes de comissionamento, não repetidos no restante do período observado.

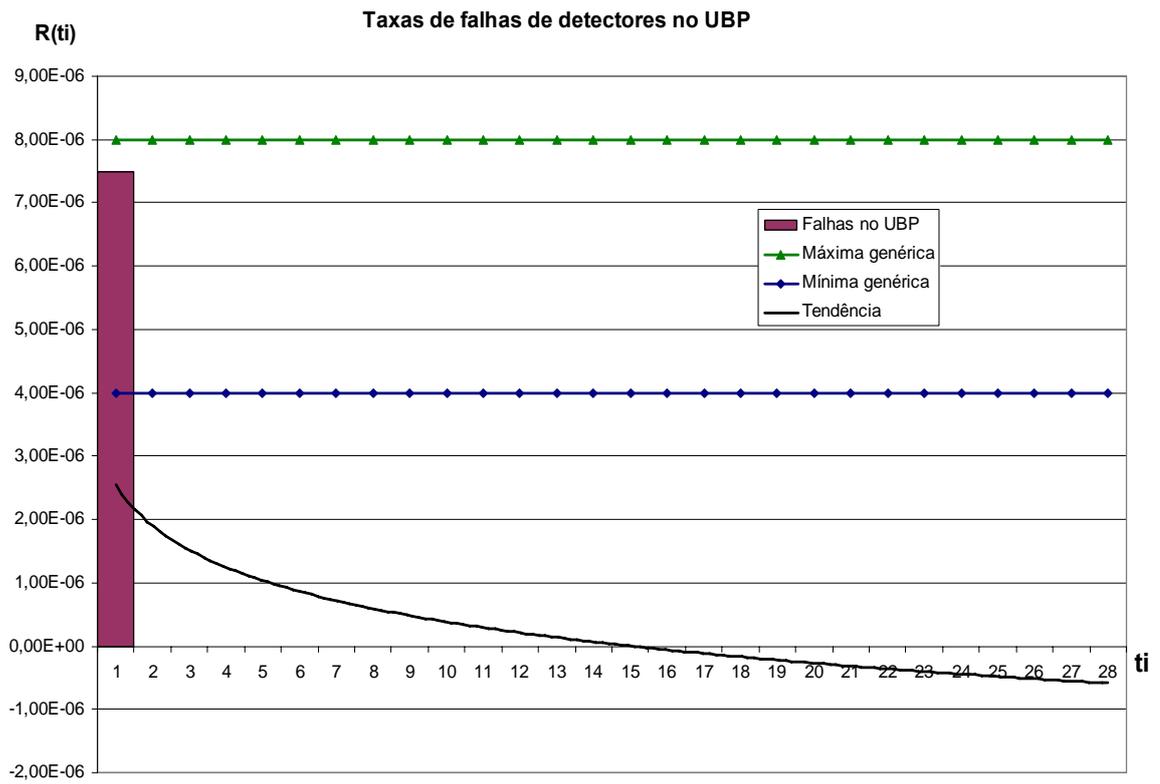


Figura 23 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UBP.

### 3.3.9 - Edifício do Sistema de Água Desmineralizada – UGD

Edifício que abriga o sistema de produção de água desmineralizada para os sistemas da usina.

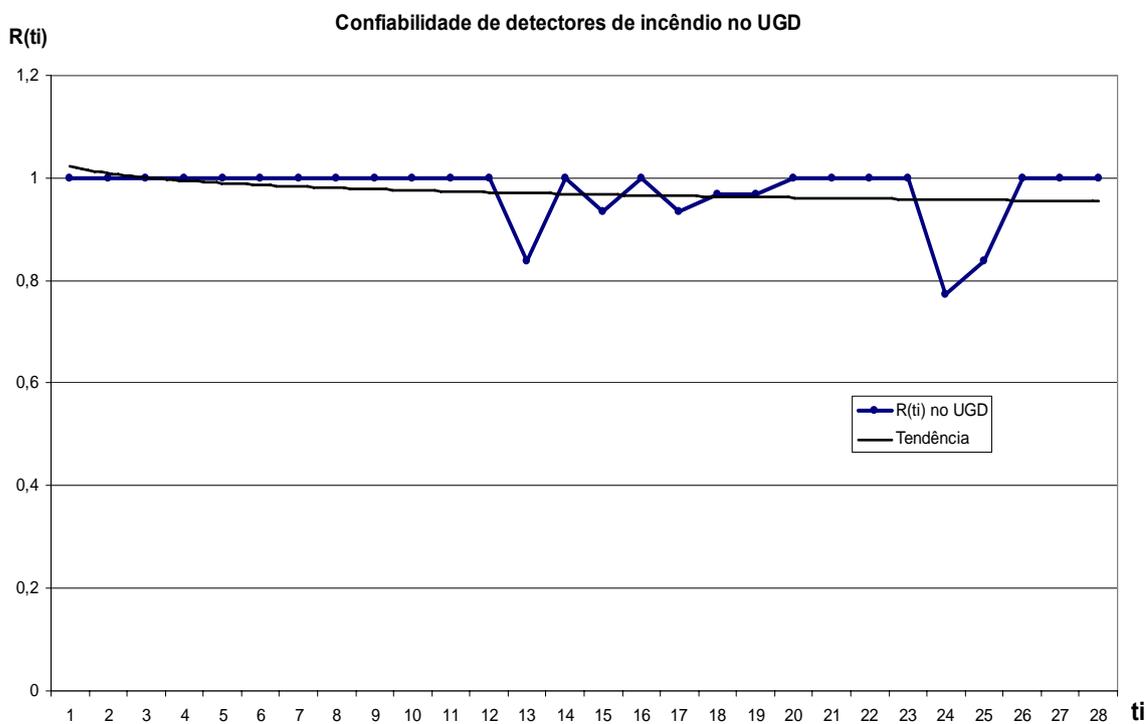


Figura 24 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UGD.

Análise dos dados de falha do UGD:

Observa-se que a confiabilidade tem tendência de queda, possivelmente devido a oxidação de contatos de detectores, sujeitos à umidade presente no edifício resultante de drenagens operacionais freqüentes.

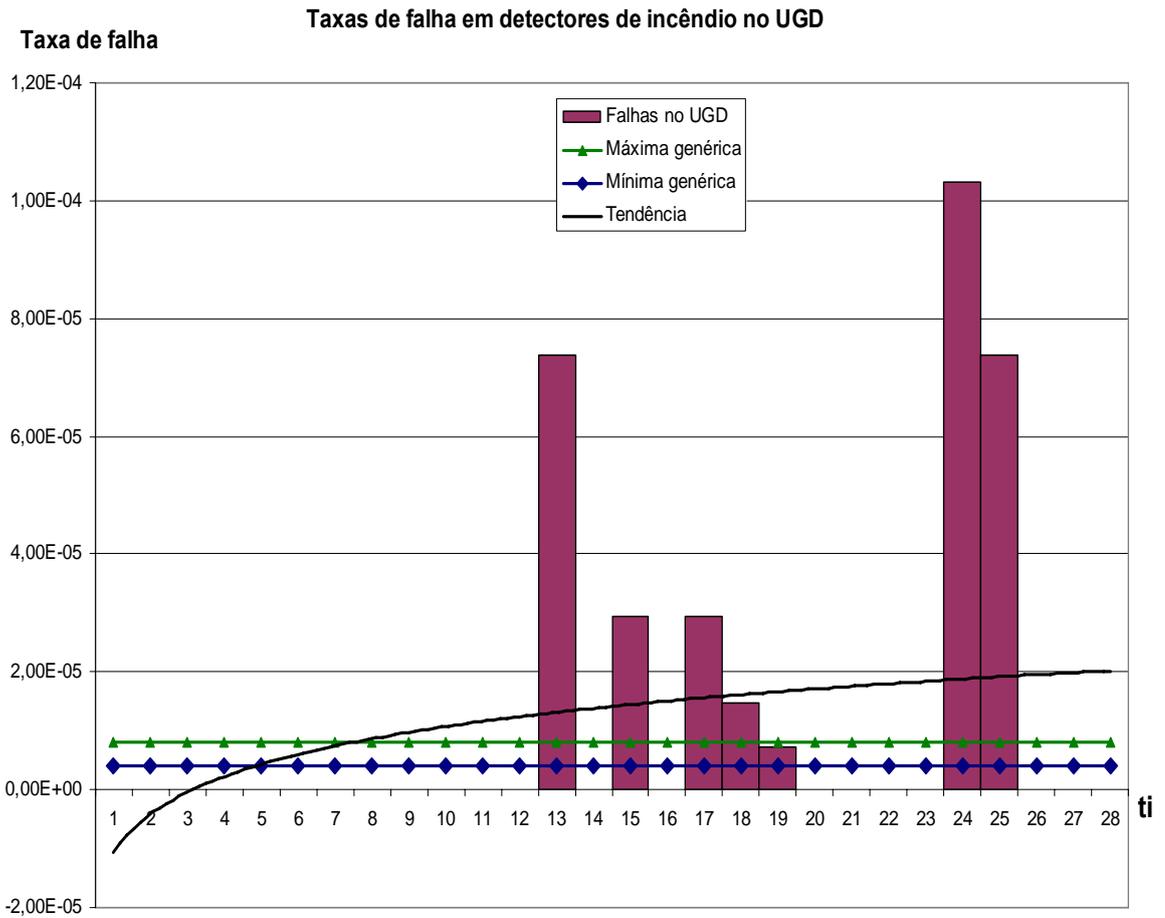


Figura 25 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UGD.

### 3.3.10 - Edifício do Reator - UJA

Este edifício abriga o reator nuclear e os componentes do sistema primário. É um edifício climatizado pouco sujeito a drenagem de sistemas e acúmulo de líquidos. Quando ocorre, os drenos são direcionados normalmente a sistemas fechados de coleta e poços de drenagem, resultando assim em umidade reduzida em operação normal.

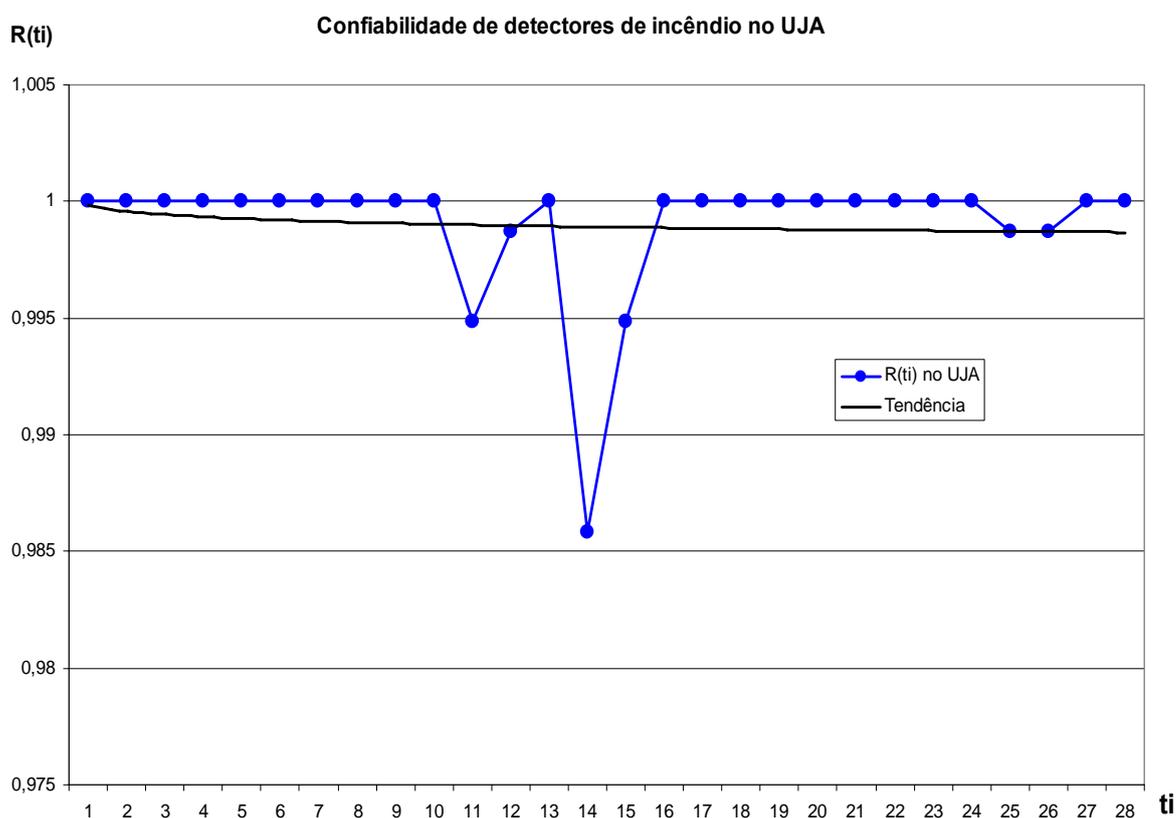


Figura 26 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UJA.

Análise dos dados de falha do UJA:

Observa-se que a confiabilidade tem tendência suave de queda, mas está relacionada a eventos de baixa frequência, possivelmente devido a condensação resultante de desligamentos prolongados de sistemas de ventilação em caráter corretivo, visto que não há regularidade entre eventos.

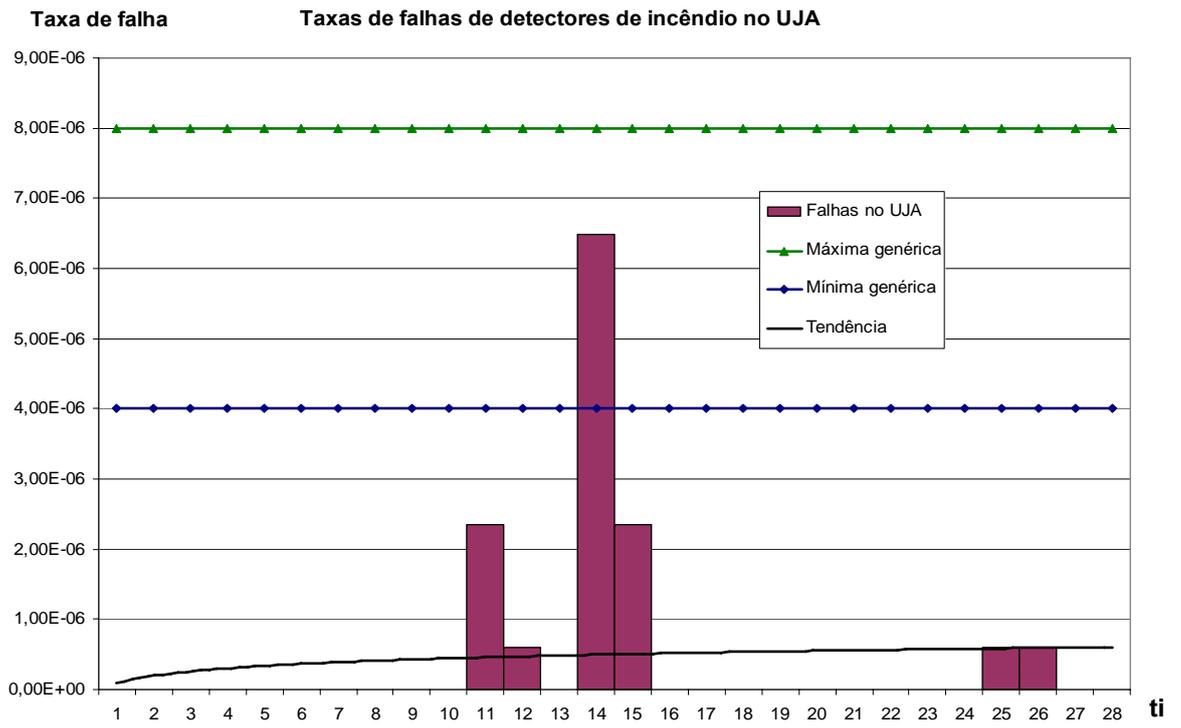


Figura 27 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UJA

### 3.3.11 - Anulus do Edifício do Reator UJB

Este edifício abriga equipamentos de sistemas auxiliares do sistema primário e cadeia de remoção de calor residual. É climatizado e sujeito a drenagens de sistemas auxiliares do reator, água desmineralizada e água do mar, oriunda dos resfriadores da cadeia de refrigeração do núcleo.

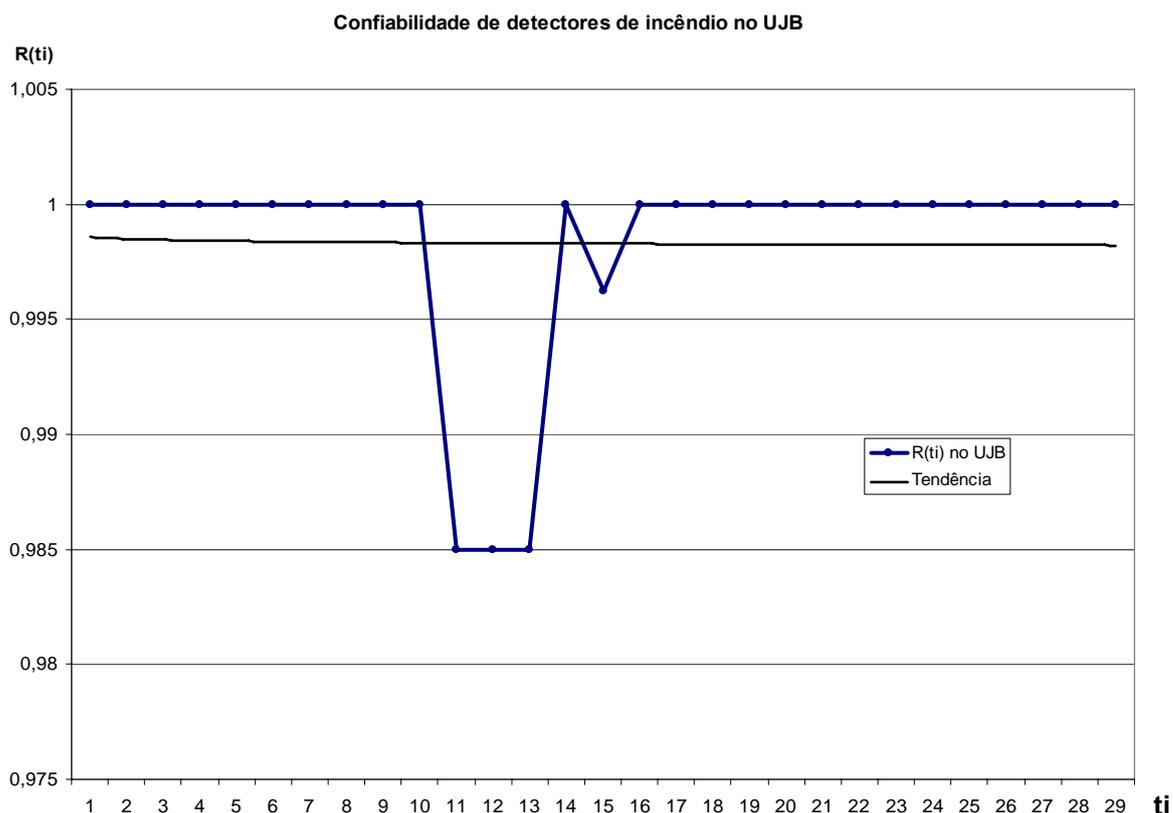


Figura 28 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UJB.

#### Análise dos dados de falha do UJB:

Observa-se que a confiabilidade tem tendência suave de queda, mas está relacionada a eventos de baixa frequência, possivelmente devido a condensação resultante de desligamentos prolongados de sistemas de ventilação em caráter corretivo, visto que não há regularidade entre eventos. Drenagens repetidas para reparos em trocadores de calor resfriados por água salgada ocorridos no período observado levaram a um aumento de salinidade do ar nas salas destes trocadores, acelerando uma eventual oxidação de detectores.

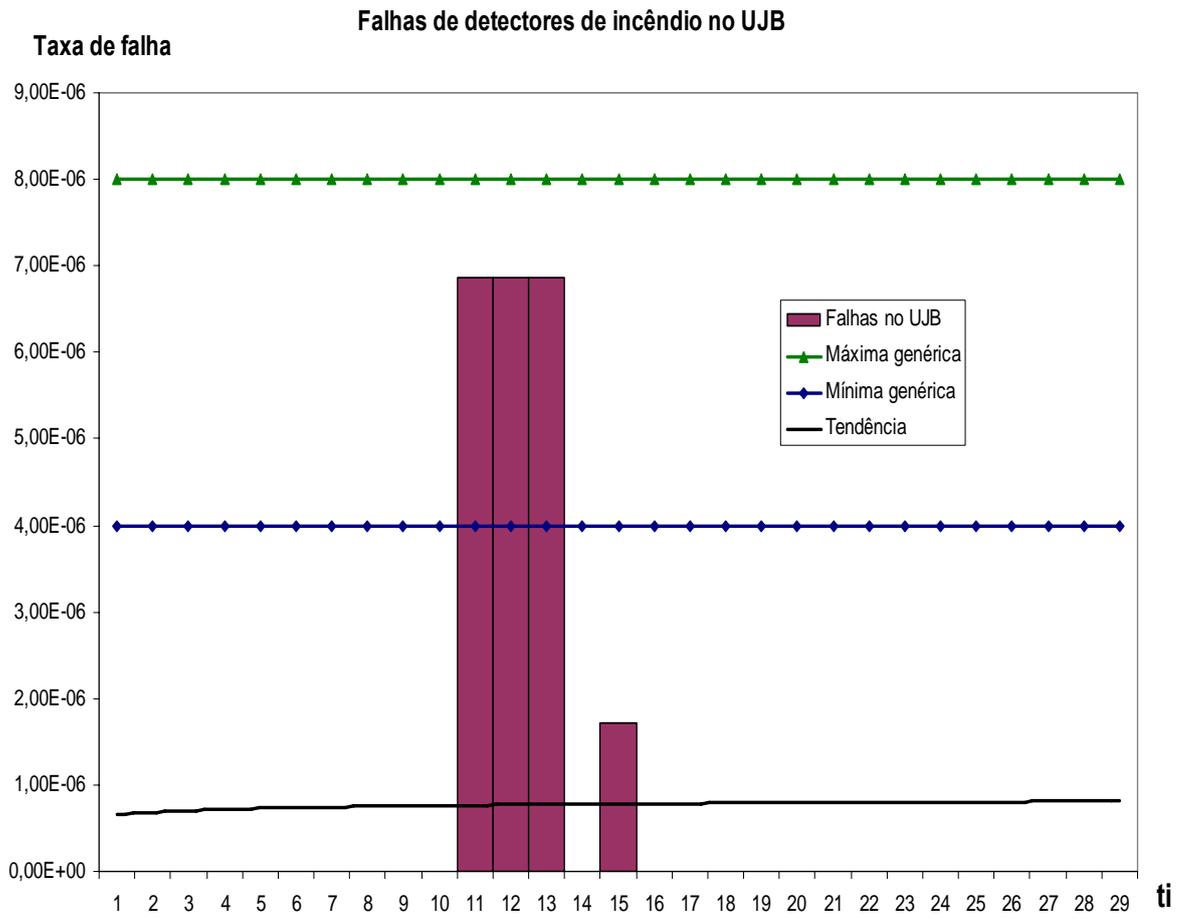


Figura 29 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UJB.

### 3.3.12 - Edifício da Estação de Válvulas dos Sistemas de Água de Alimentação e de Vapor Principal - UJE

Este edifício é refrigerado em condição normal, podendo ocorrer presença de vapor quando de algum vazamento de água de alimentação ou vapor principal.

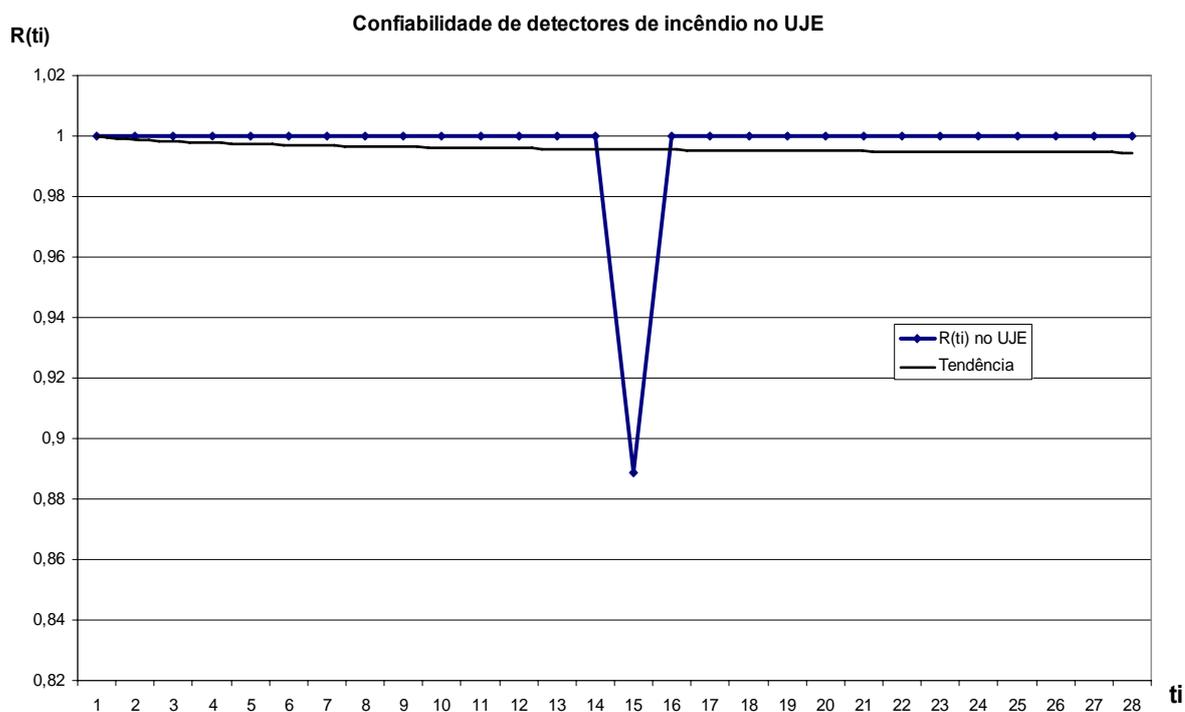


Figura 30 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UJE.

#### Análise dos dados de falha do UJB

Observa-se que a confiabilidade tem tendência suave de queda, mas está relacionada a eventos de baixa frequência. Neste prédio, as falhas se originam em vazamentos de vapor em gaxetas de válvulas de água de alimentação a alta temperatura. Isolamentos de sistemas de ventilação não provocam aumento de condensação neste edifício.

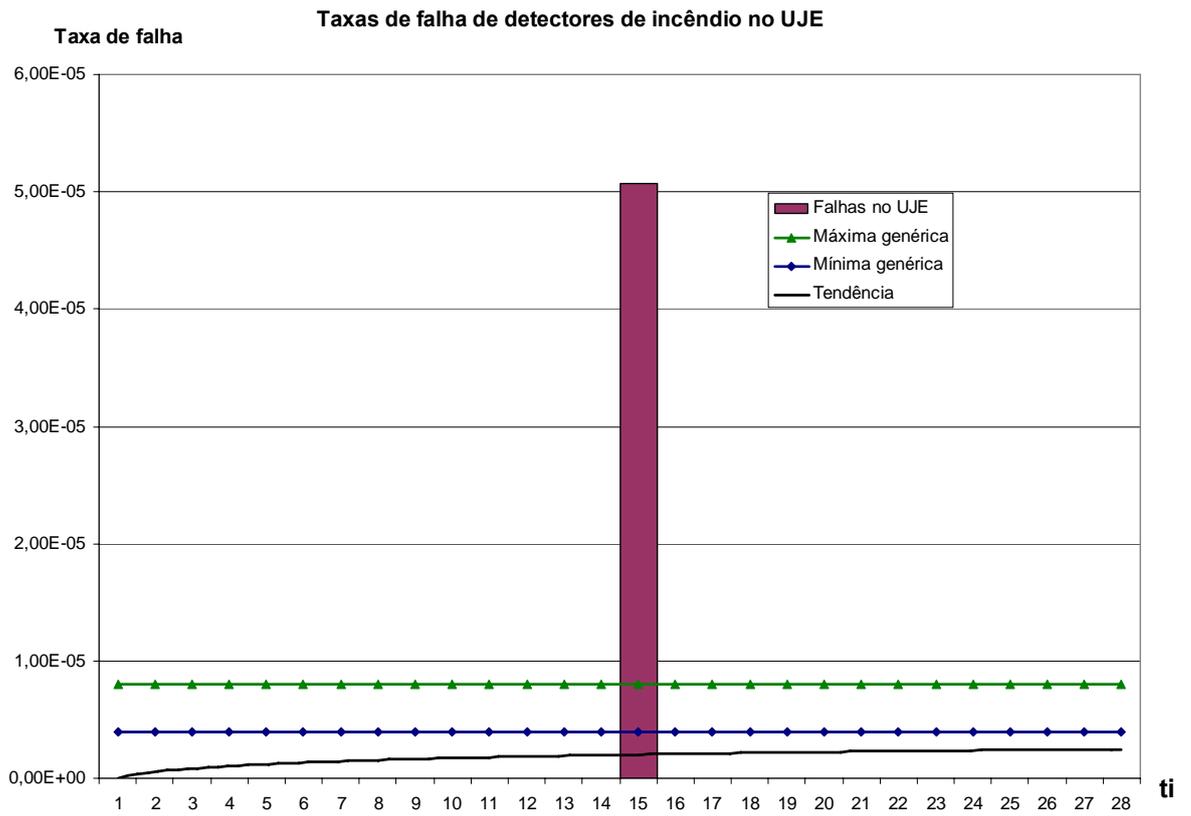


Figura 31 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UJE.

### 3.3.13 - Edifício Auxiliar do Reator – UKA –

Este edifício abriga os sistemas auxiliares do sistema primário e do reator. O ar é condicionado e filtrado. Sujeito a presença de água devido a extravasamentos de gaxetas de bombas e condensado resultante dos resfriadores de ventilação

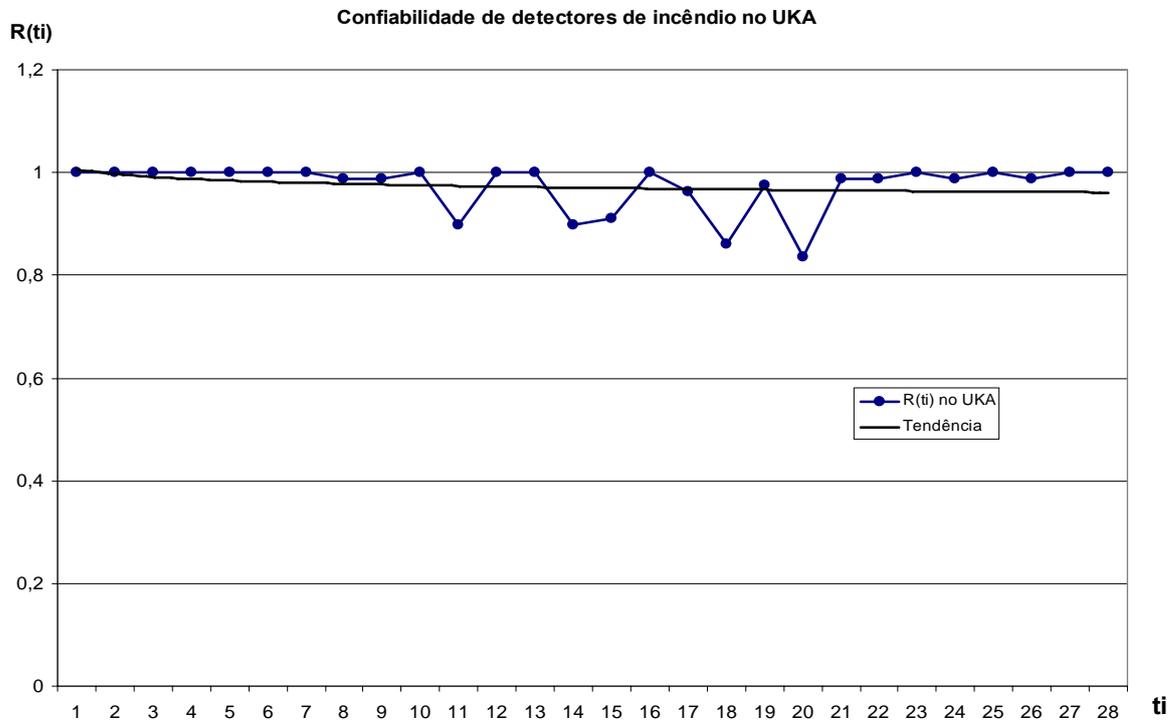


Figura 32 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UKA.

#### Análise dos dados de falha do UKA

Observa-se que a confiabilidade tem tendência suave de queda, mas está relacionada a eventos de frequência mais estável, mas de pequena quantidade. Neste prédio, as falhas podem se originar devido a isolamentos de sistemas de ventilação provocando aumento de condensação neste edifício.

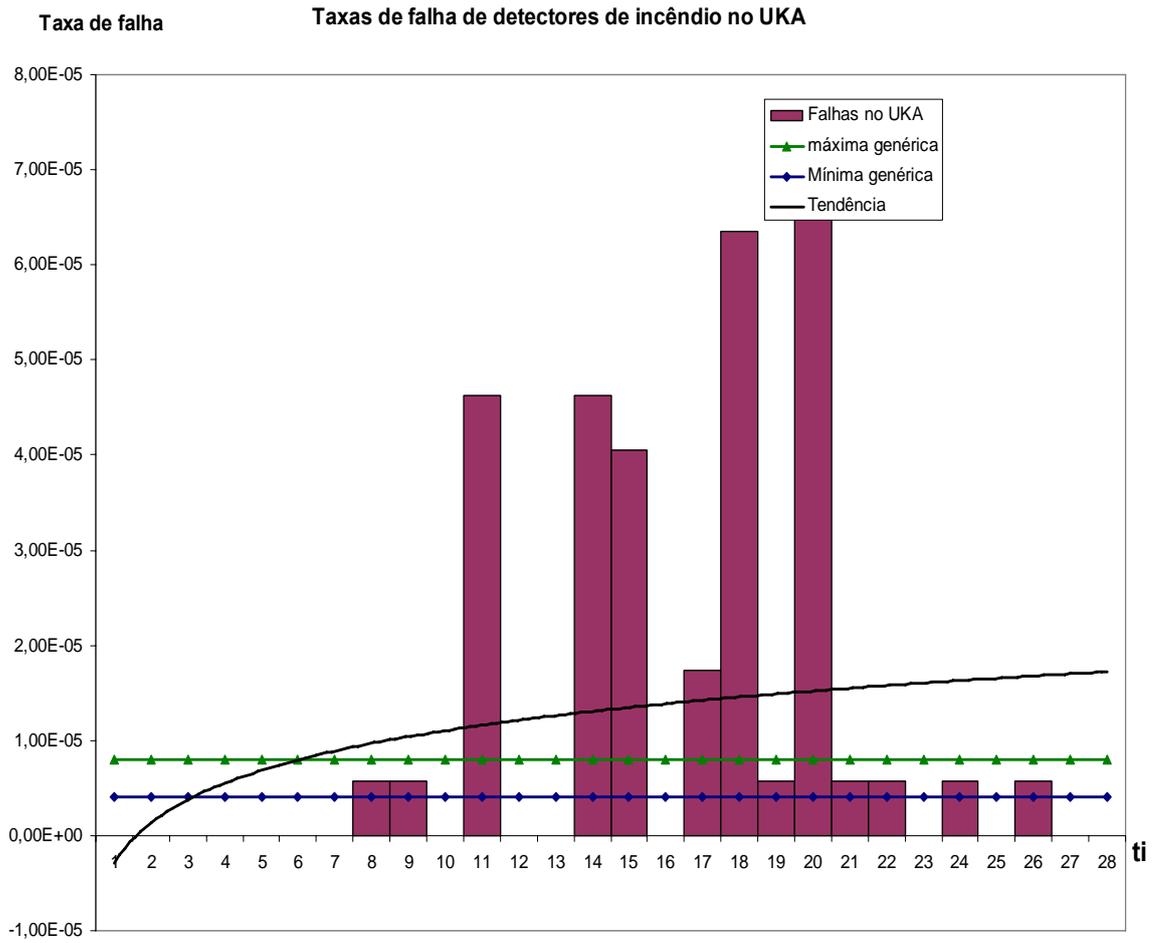


Figura 33 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UKA.

### 3.3.14 - Estrutura da Chaminé de Descargas de Gases - UKH

Estrutura responsável pela medição e descarga dos gases da usina e abriga caldeira elétrica para aquecimento do tanque de betume usado no sistema de rejeito sólido.

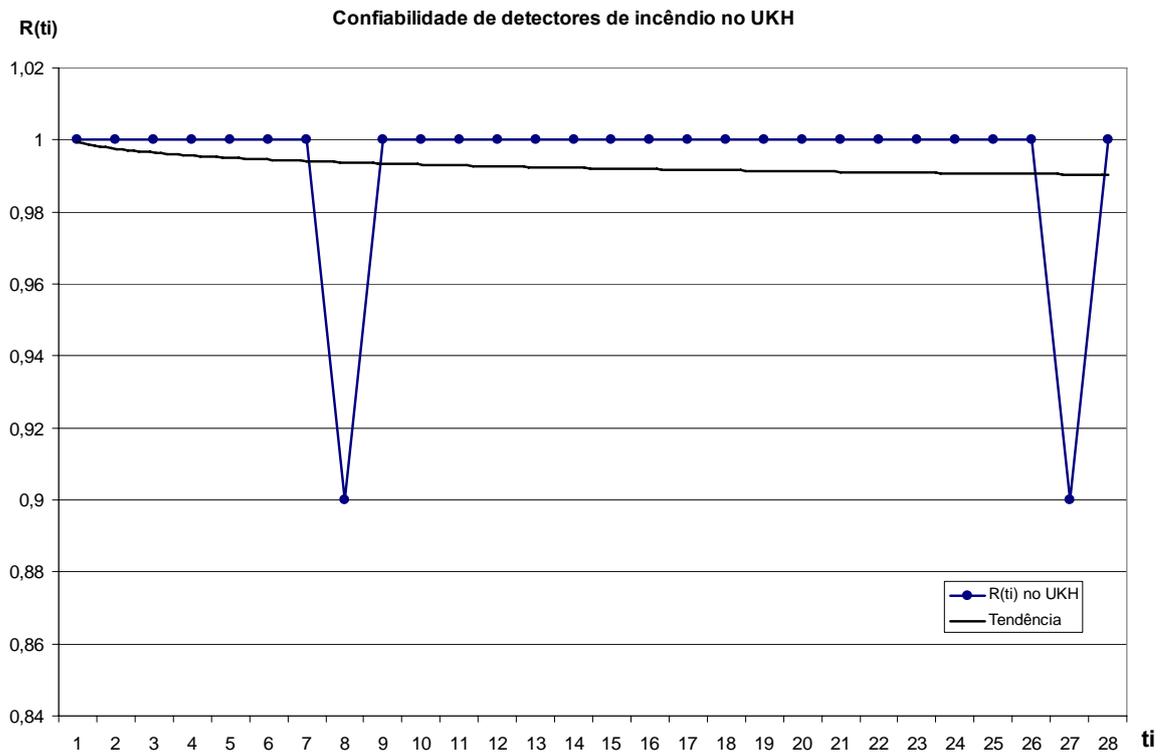


Figura 34 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UKH.

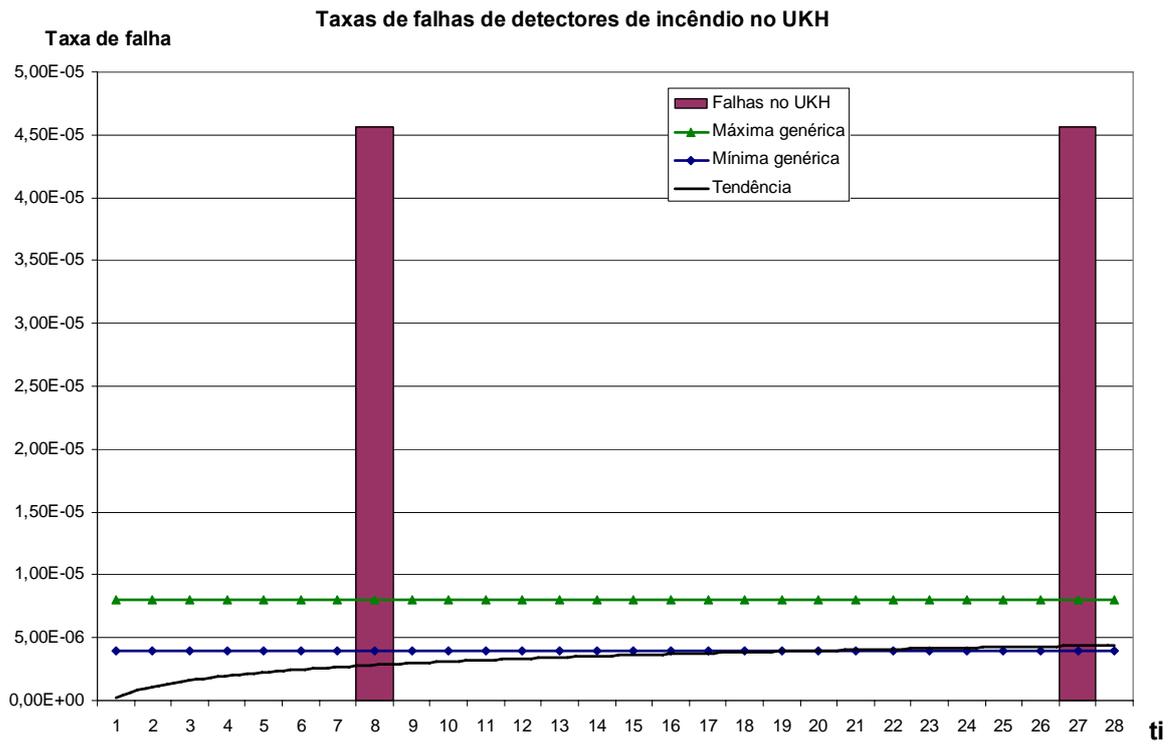


Figura 35 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UKH.

### 3.3.15 - Edifício de Água de Alimentação e Suprimento de Potência de Emergência - ULB

Edifício que abriga os geradores de emergência 2 e piscinas de água desmineralizada para uso em caso de emergência. É climatizado e sujeito a fumaça de descarga dos geradores diesel e água oriunda de possíveis vazamentos de água das gaxetas de bombas.

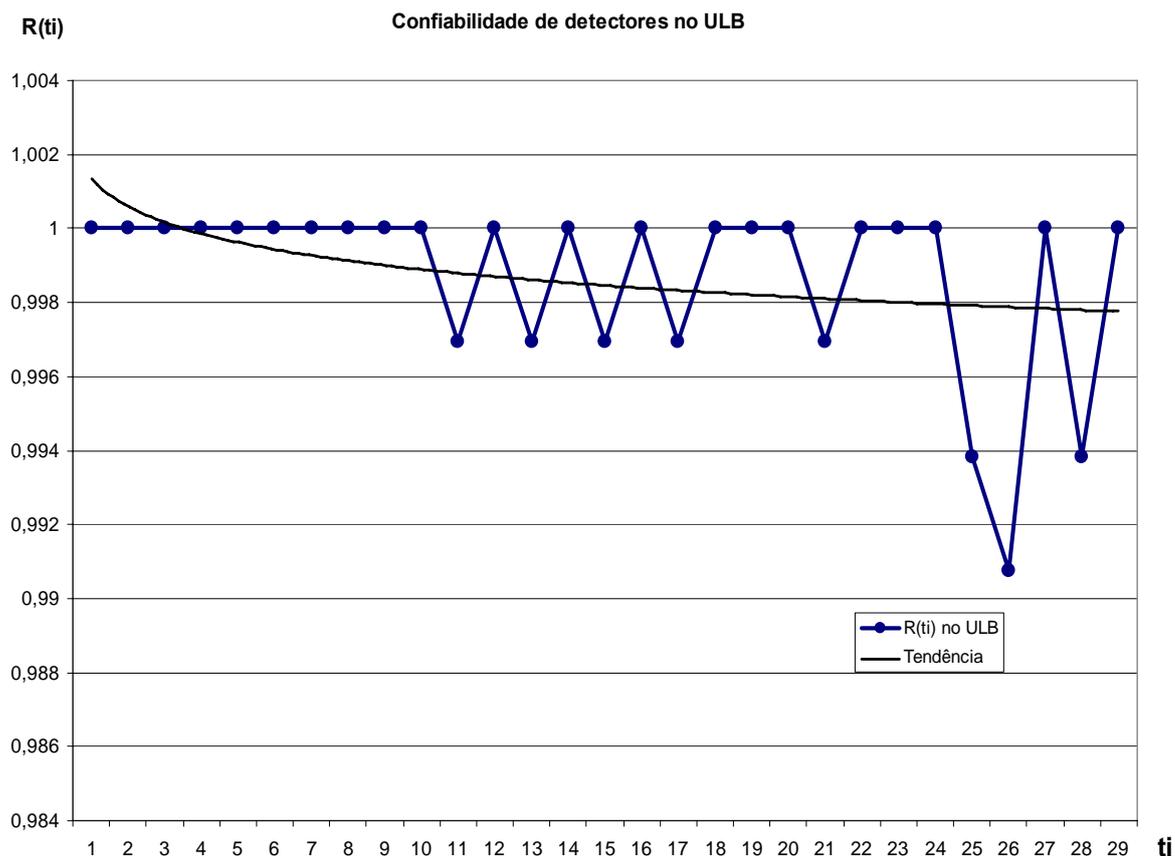


Figura 36 – Gráfico da confiabilidade de detectores no ULB.

#### Análise dos dados de falha do ULB:

Observa-se que a confiabilidade tem tendência de queda em relação ao início da operação do sistema, podendo estar relacionada a isolamentos de sistemas relacionados à refrigeração do edifício e conseqüente aumento da condensação.

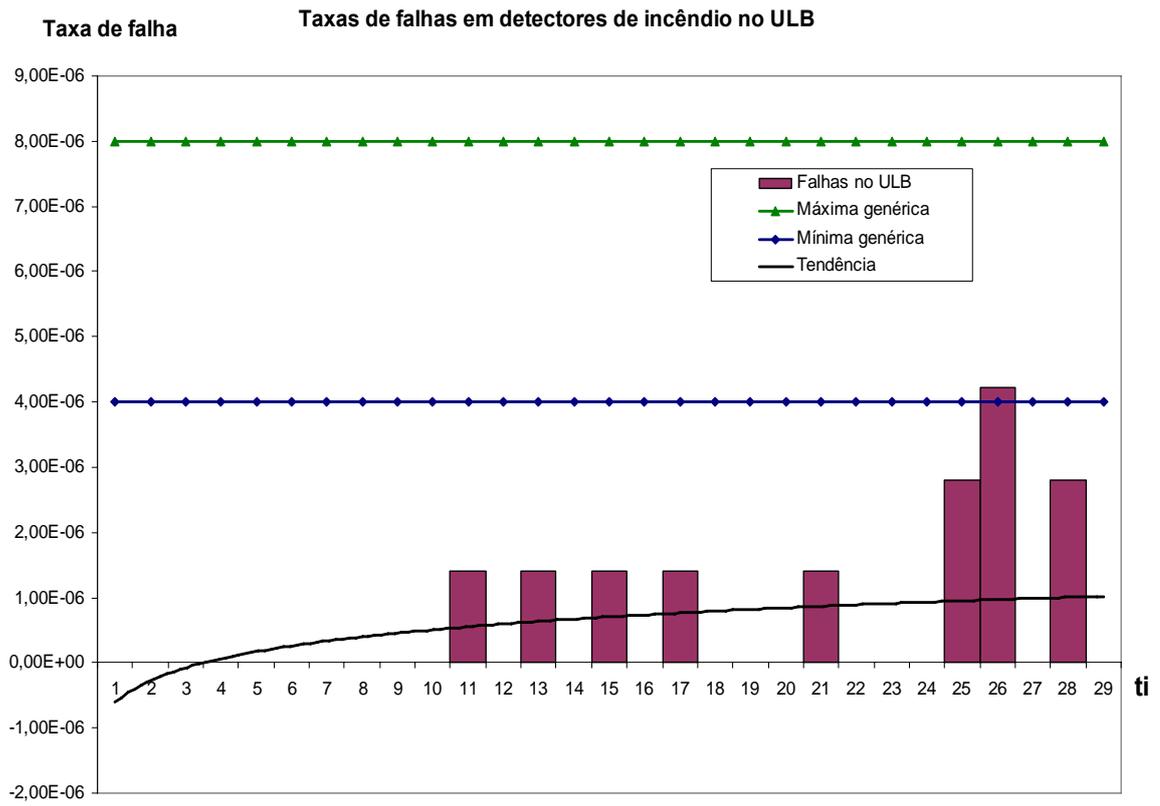


Figura 37 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no ULB.

### 3.3.16 - Edifício do Laboratório Químico Frio e Bombas de Água Desmineralizada -ULD

Edifício que abriga o laboratório químico do sistema secundário e bombas de circulação de água desmineralizada. É climatizado e sujeito a vazamentos de água oriundos de gaxetas de bombas e vapores oriundos de procedimentos químicos.

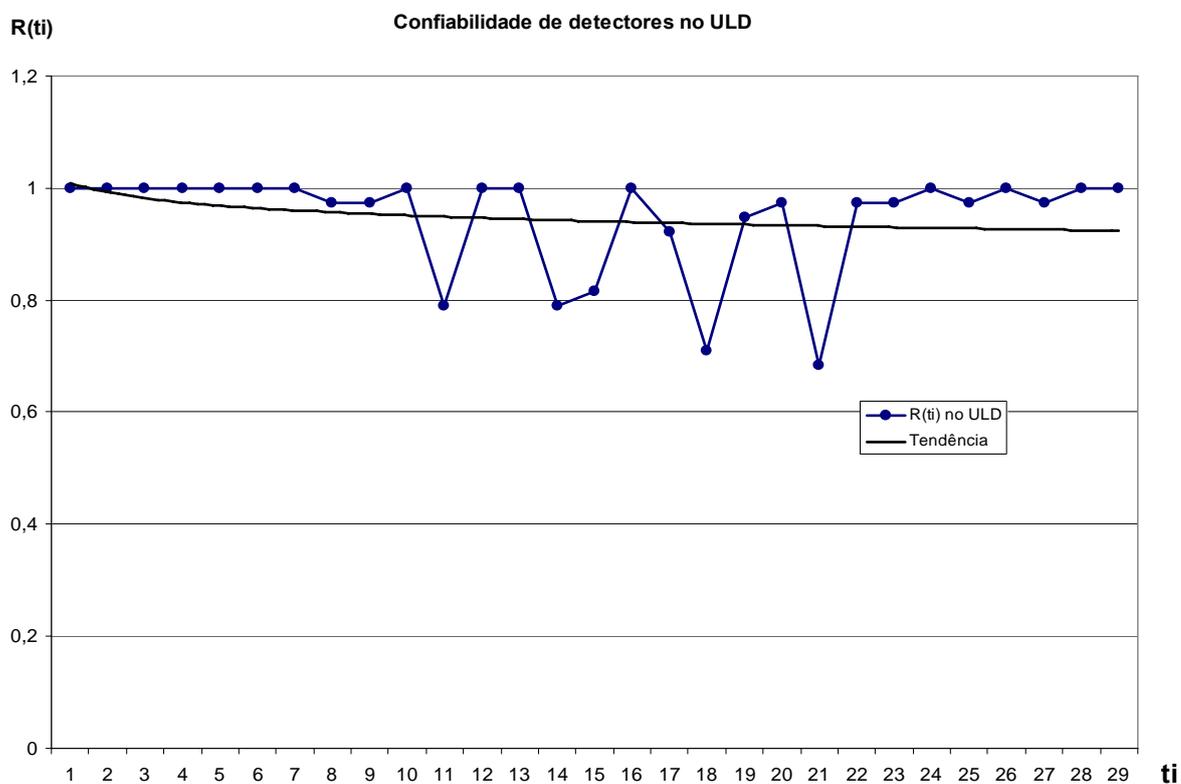


Figura 38 – Gráfico da confiabilidade de detectores no ULD.

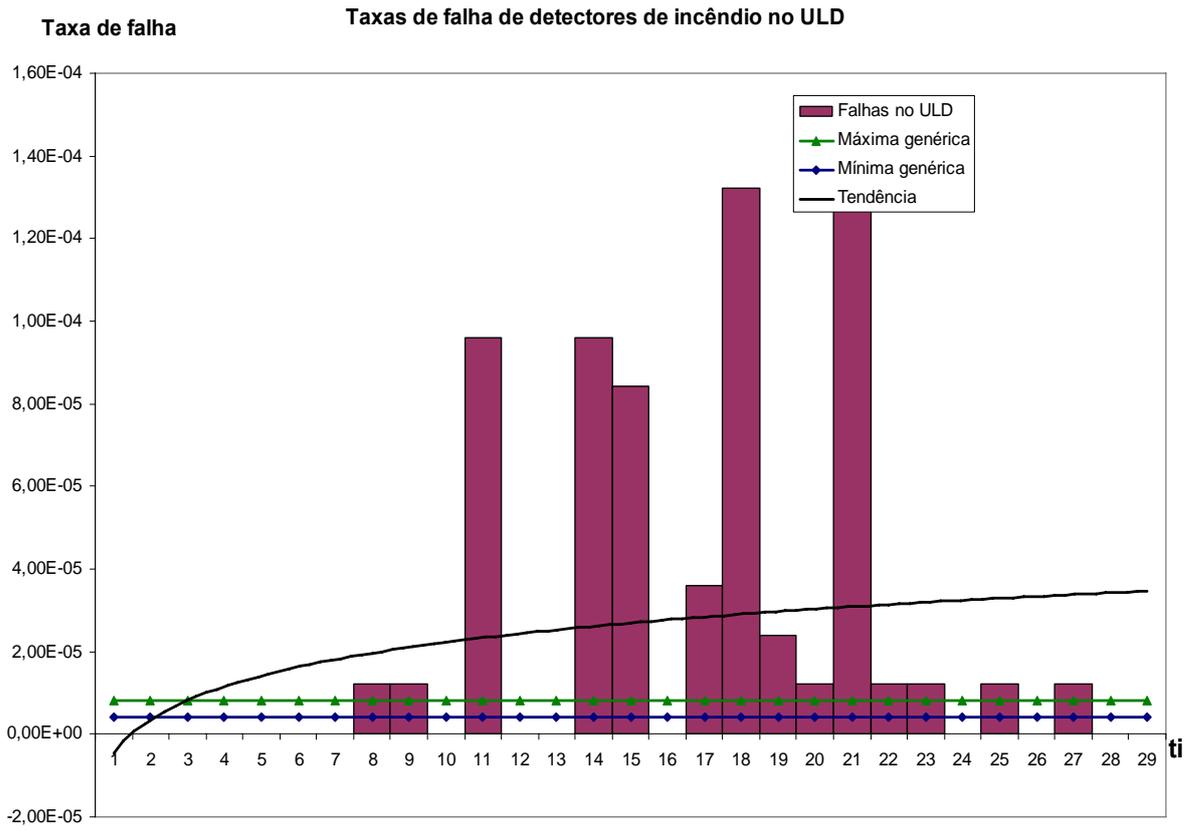


Figura 39 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no ULD.

### 3.3.17 - UMA – Edifício da Turbina

Edifício que abriga a turbina, gerador elétrico e sistemas auxiliares. Edifício suprido de exaustores e circulação de ar forçada. Sujeito a vapor e água é óleo, oriundos de extravasamentos operacionais de bombas e drenos de sistemas.

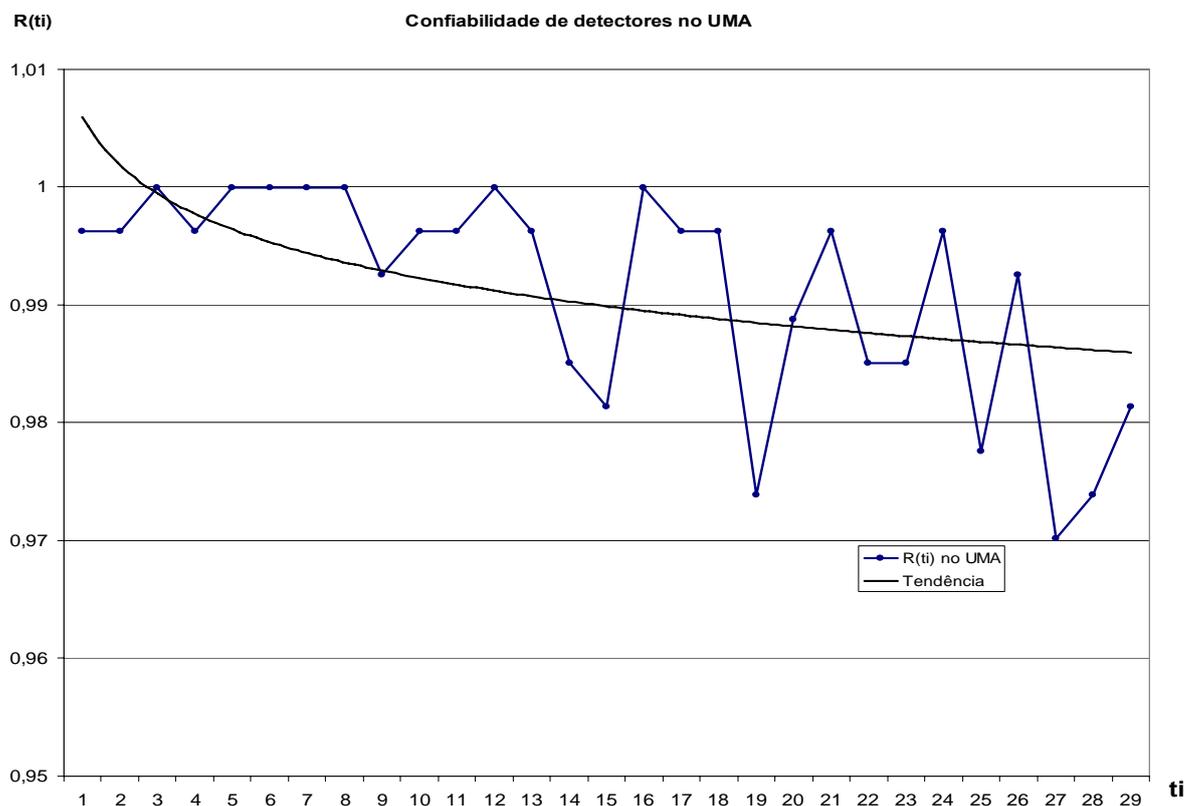


Figura 40 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UMA.

Análise dos dados de falha do UMA:

Observa-se que a confiabilidade tem tendência de queda acentuada em associada em sua maioria de eventos a condensação em salas de ventiladores que suprem galerias de cabos, quando há desligamentos para serviços de natureza preventiva e corretiva. Vazamentos de vapor próximos a detectores ocasionam alarmes freqüentes e aumentam a deterioração mais acelerada dos mesmos.

Taxa de falha

Taxas de falha de detectores de incêndio no UMA

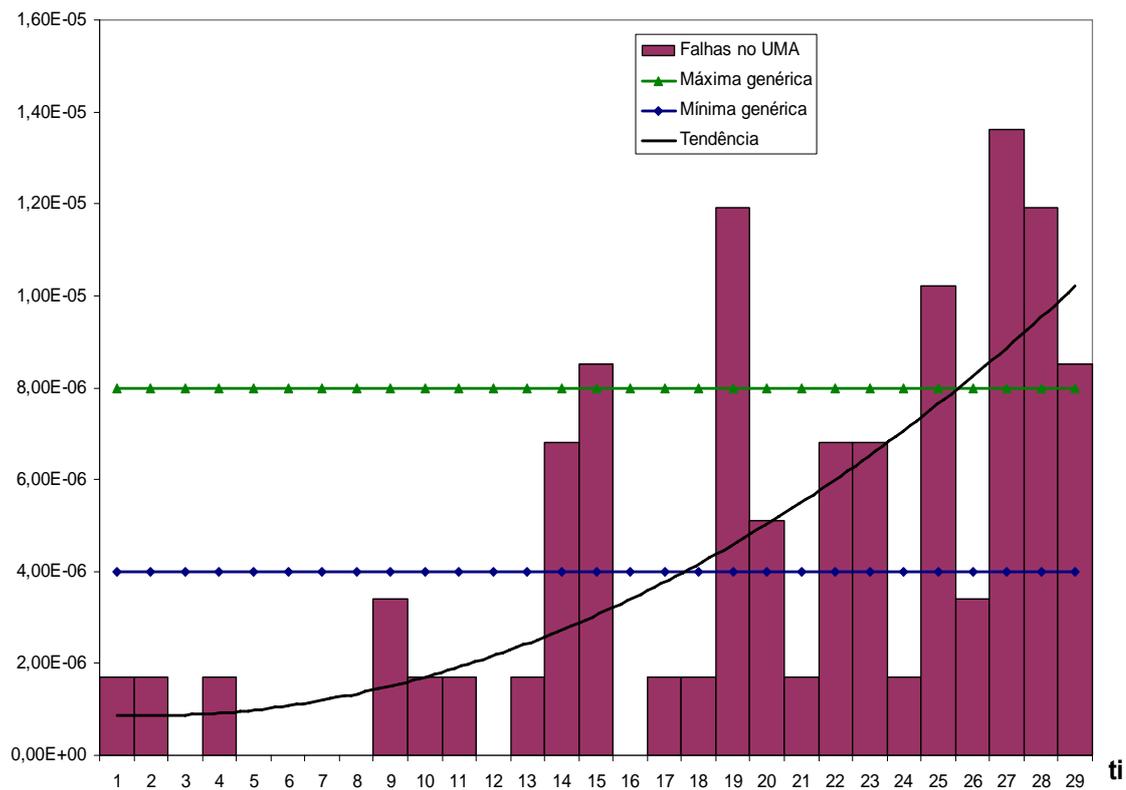


Figura 41 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UMA.

### 3.3.18 - Estrutura de tomada D'Água -UPC

Estrutura que abriga as bombas de circulação de água do mar para refrigeração dos componentes convencionais da usina. Possui ventilação forçada e há possibilidade de presença de água salgada oriundo de extravasamento de gaxetas e óleo de sistemas de lubrificação de bombas.

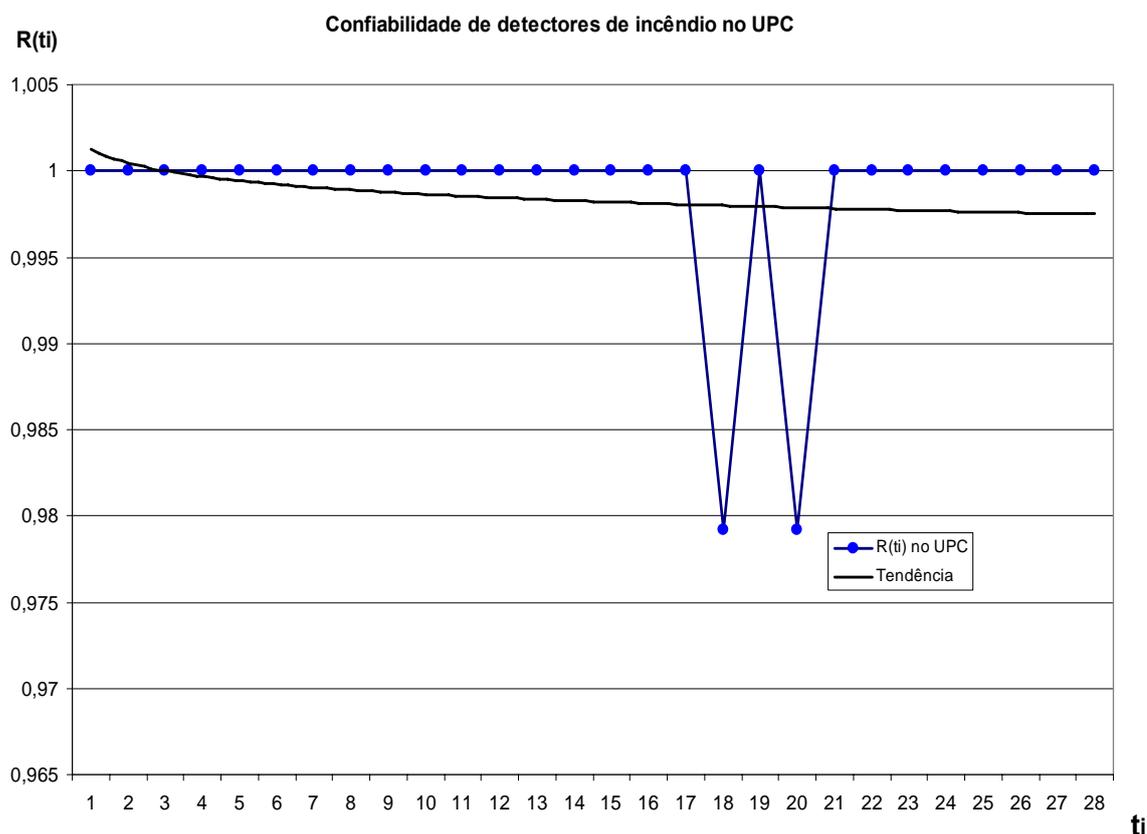


Figura 42 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UPC.

#### Análise dos dados de falha do UPC:

Observa-se que a confiabilidade tem tendência de queda suave em função de eventos pontuais. A condensação nas salas deste prédio não é freqüente. As drenagens e acúmulos de água salgada são menos freqüentes que em outros prédios próximos, como o 1-2UQB. Apenas a oxidação em função de da presença de pequenas quantidades de água salgada (oriundas de extravasamentos de gaxetas) e o ar salino e úmido poderiam ser definidos como responsáveis pelas falhas em detectores.

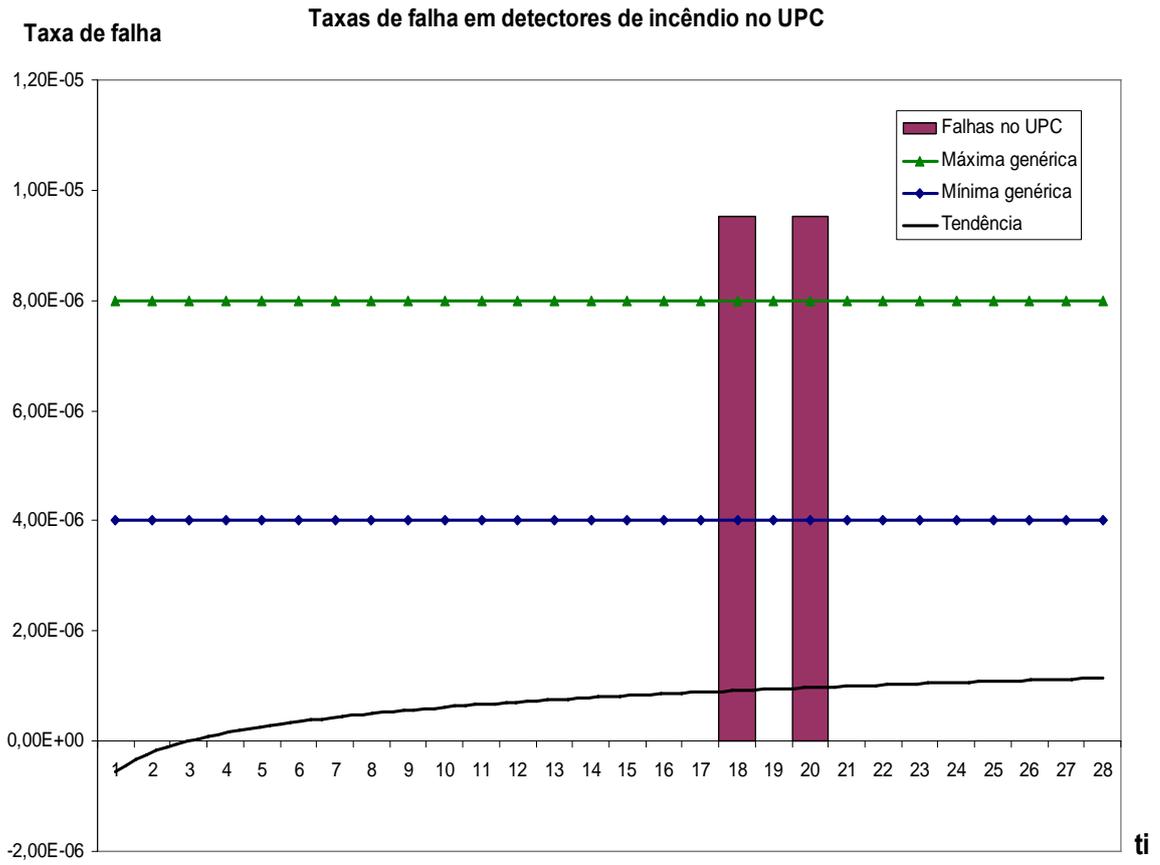


Figura 43 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UPC.

### 3.3.19 - Edifício do Sistema de Biocida - UPQ

Este prédio abriga o sistema de produção de hipoclorito de sódio para prevenção de formação de cracas nas tubulações de água de refrigeração da usina. É ventilado por circulação natural está sujeito a presença de água salgada oriunda de extravasamentos operacionais.

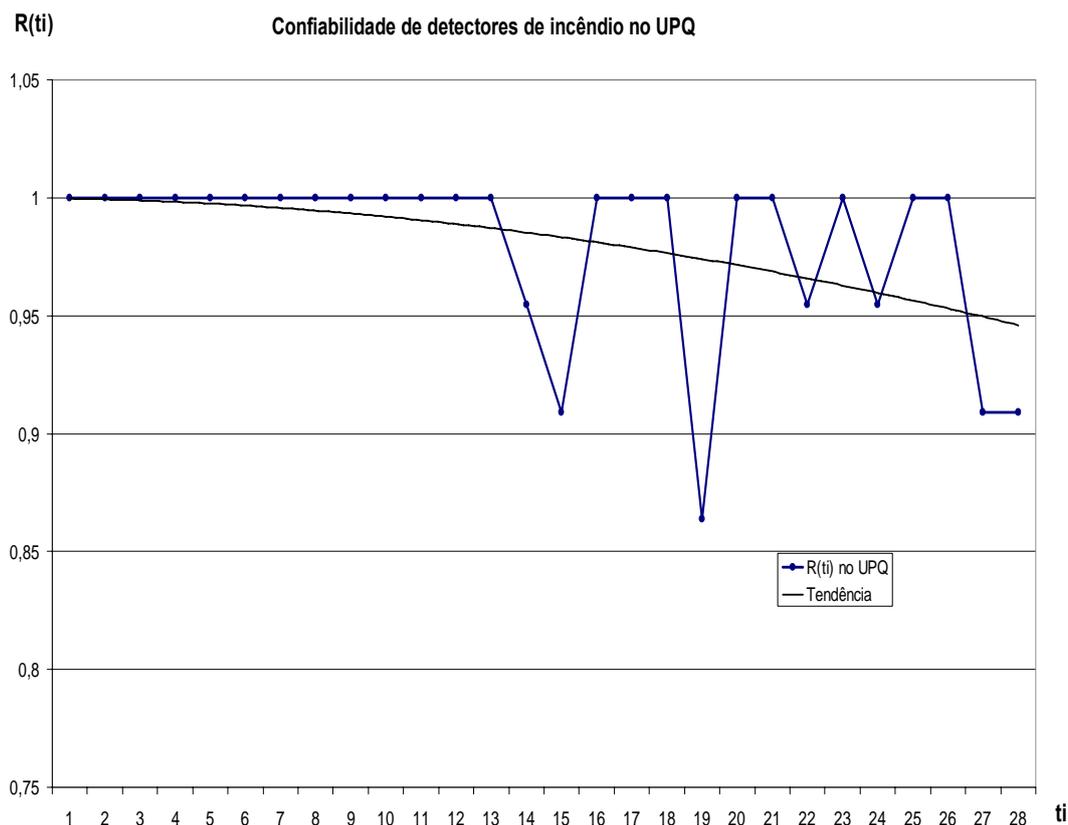


Figura 44 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UPQ.

#### Análise dos dados de falha do UPC:

Observa-se que a confiabilidade tem tendência de queda em função de falhas repetidas. As drenagens e acúmulos de água salgada são mais freqüentes que em outros prédios próximos, devido à problemas de comissionamento e operação dos sistema de biocida. A oxidação em função de da presença de constante presença de água salgada, oriundas de drenos de filtros e células eletrolíticas poderiam ser definidos como responsáveis pelas falhas de detectores. A sala de retificadores é o ponto mais crítico, devido ao seu histórico de problemas no sistema de ventilação.

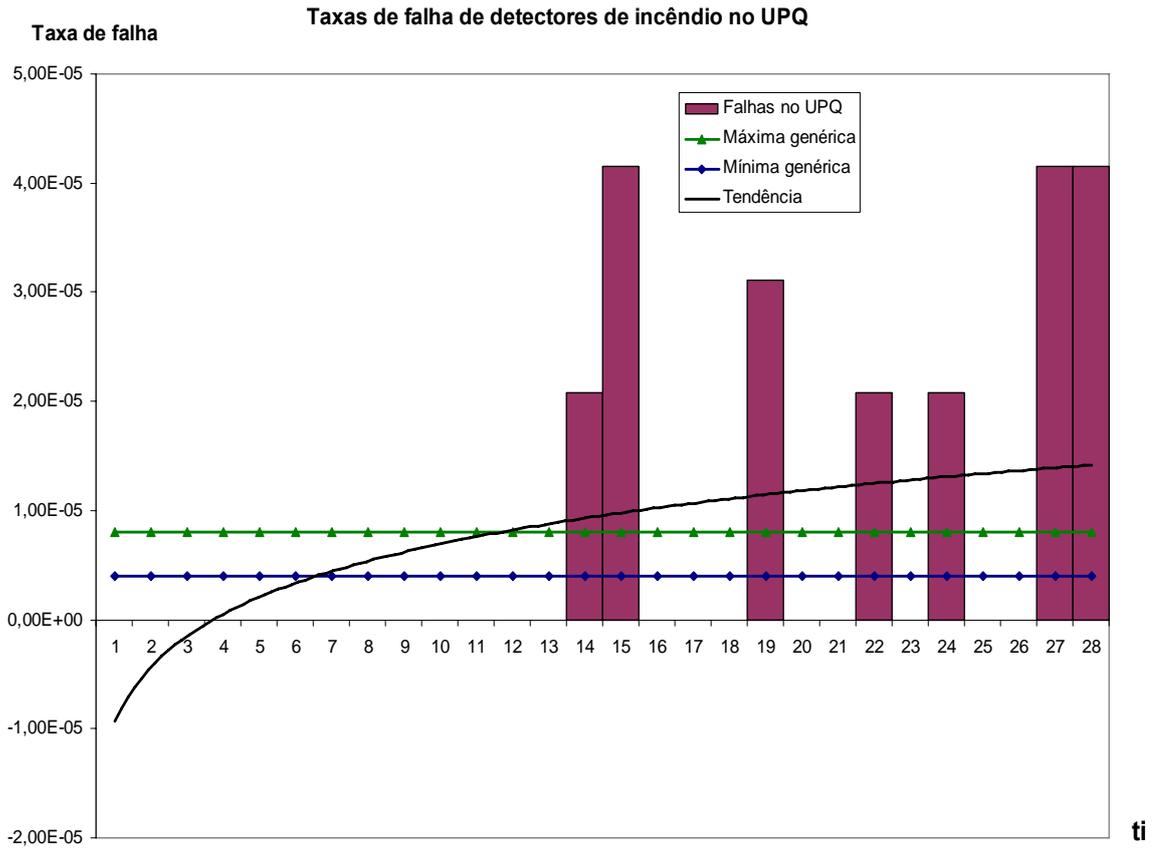


Figura 45 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UPQ.

### 3.3.20 - Edifício de Oficinas de Manutenção - UST

Edifício dedicado às oficinas de manutenção dos sistemas da usina. Tem ventilação natural nas áreas de galpão, refeitórios e banheiros, ar condicionado em escritórios e laboratórios.

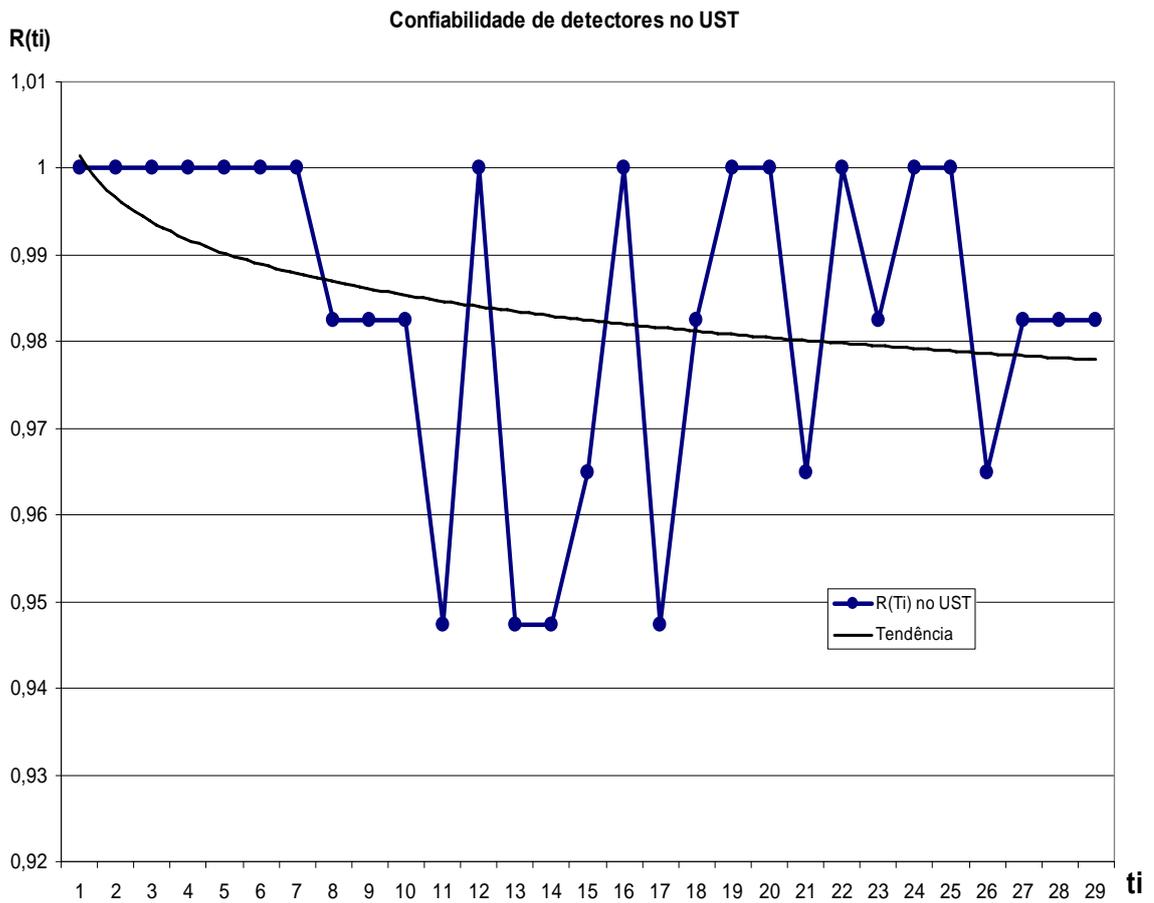


Figura 46 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UST.

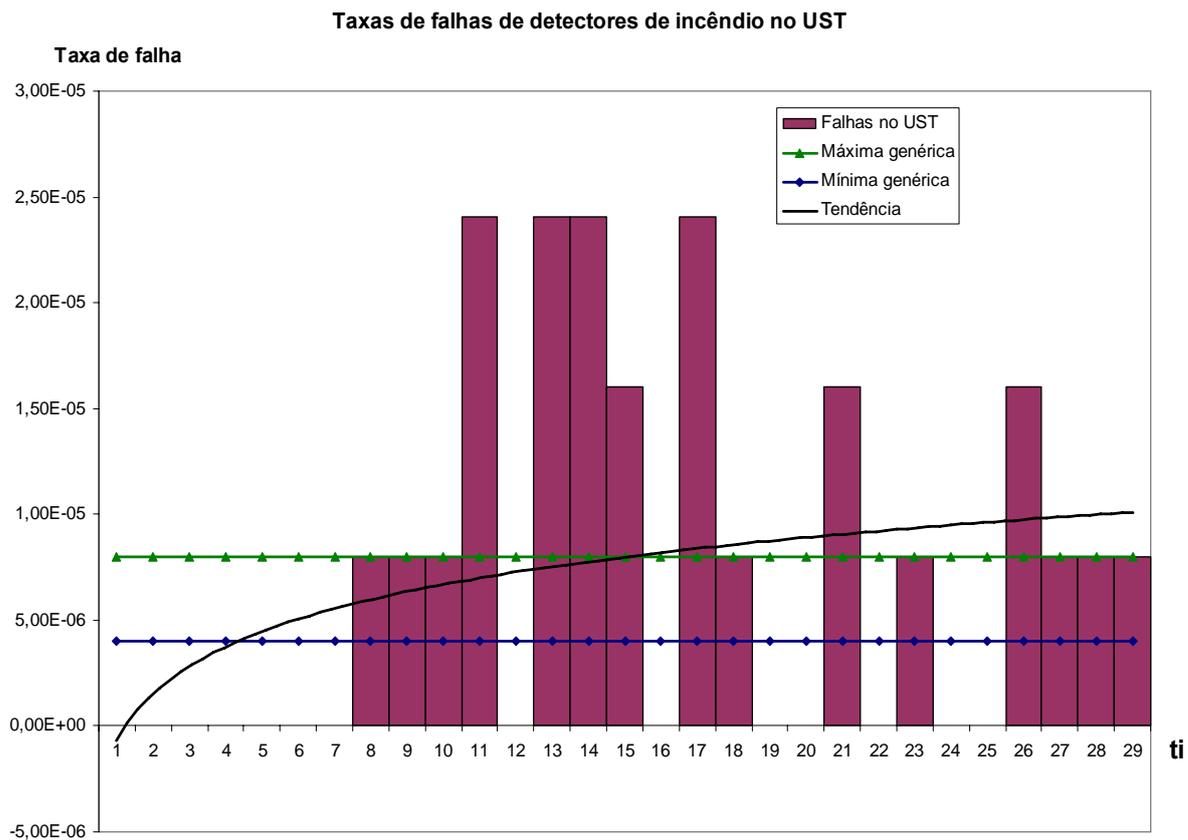


Figura 47 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UST.

### 3.3.21 - Depósitos de Lubrificantes -USU e 5USU

Depósitos destinados a estoque de material lubrificante. Ventilação natural com exaustão de gases. Sujeitos a possíveis resíduos de material lubrificante oriundo dos recipientes.

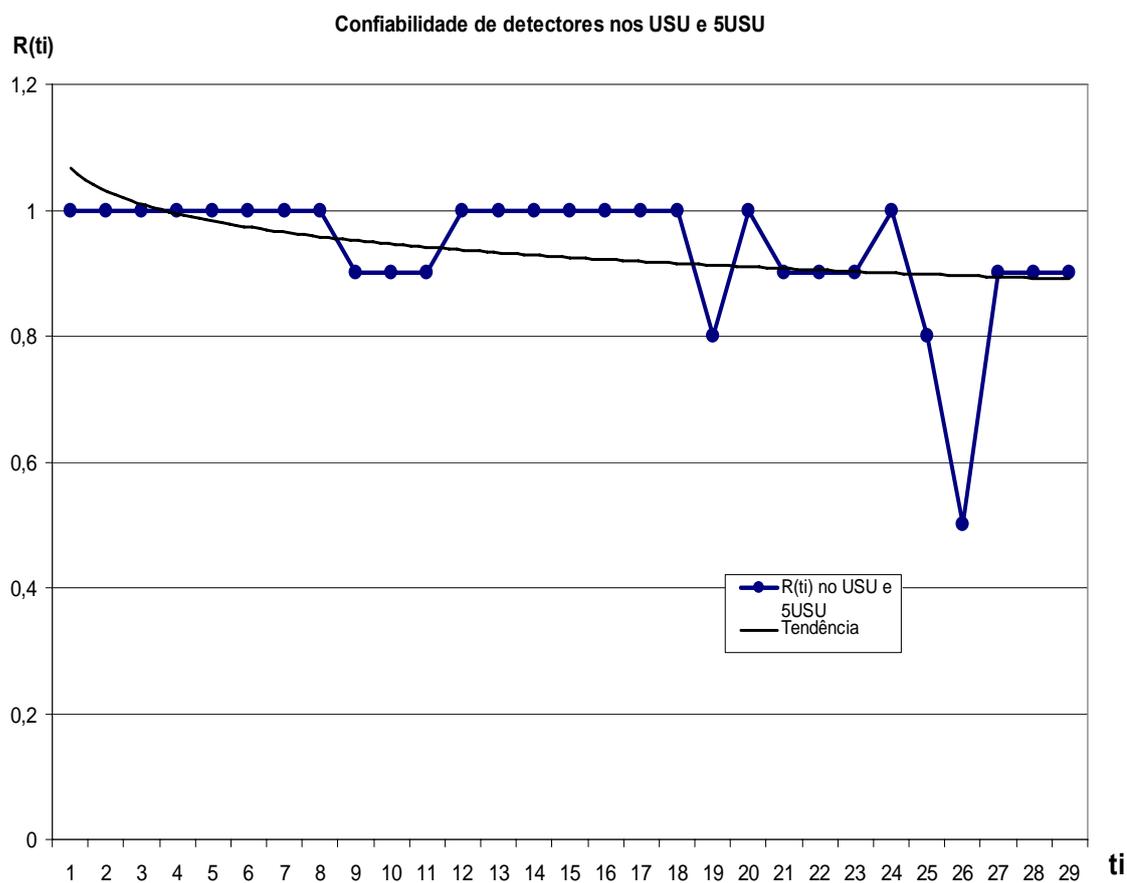


Figura 48 – Gráfico da confiabilidade de detectores no USU e 5USU.

Taxas de falhas de detectores nos USU e 5USU

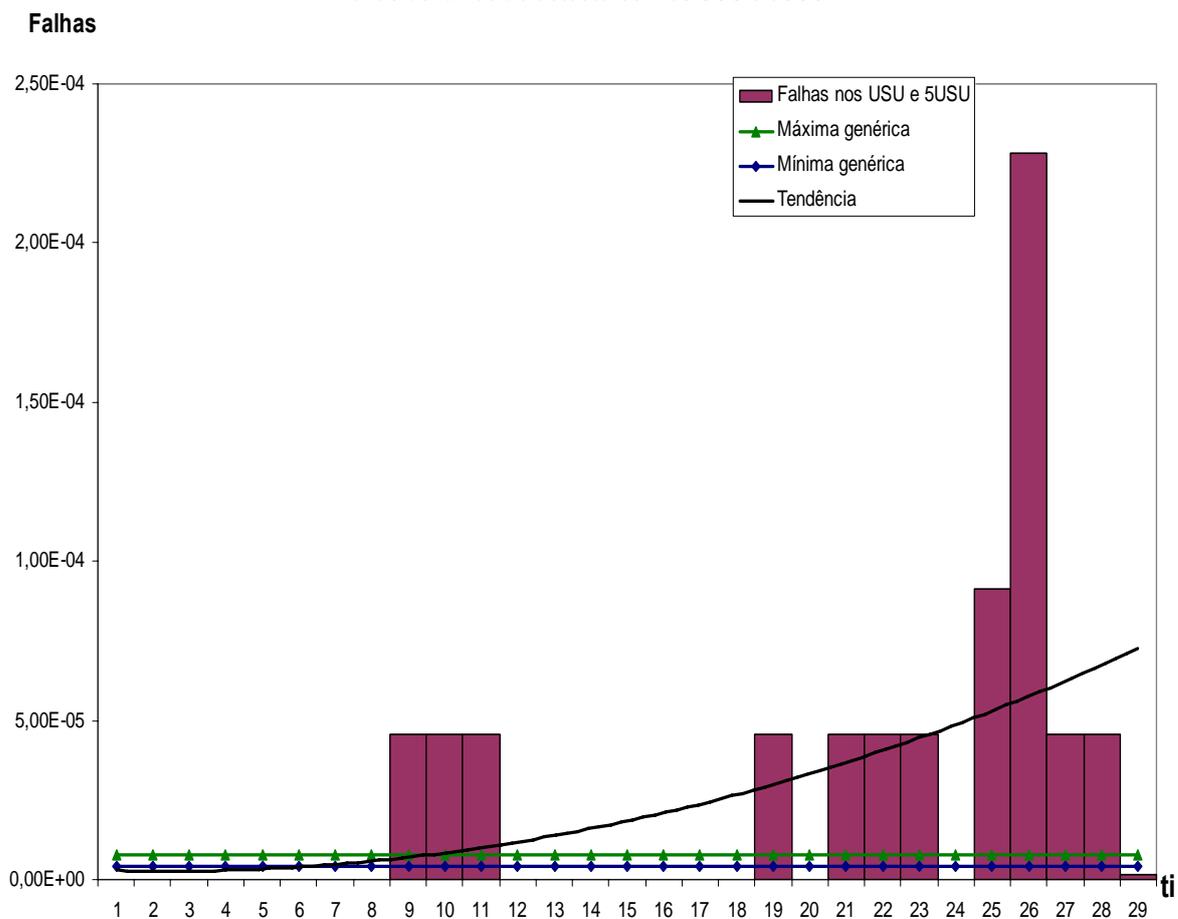


Figura 49 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no USU e 5USU.

### 3.3.22 - Edifício da Caldeira -UTA

Edifício dedicado aos sistemas de caldeira e geração de ar comprimido. Ventilação forçada. Sujeito a presença de vapor oriundo de purgadores e água oriunda de extravasamento de gaxetas de bombas.

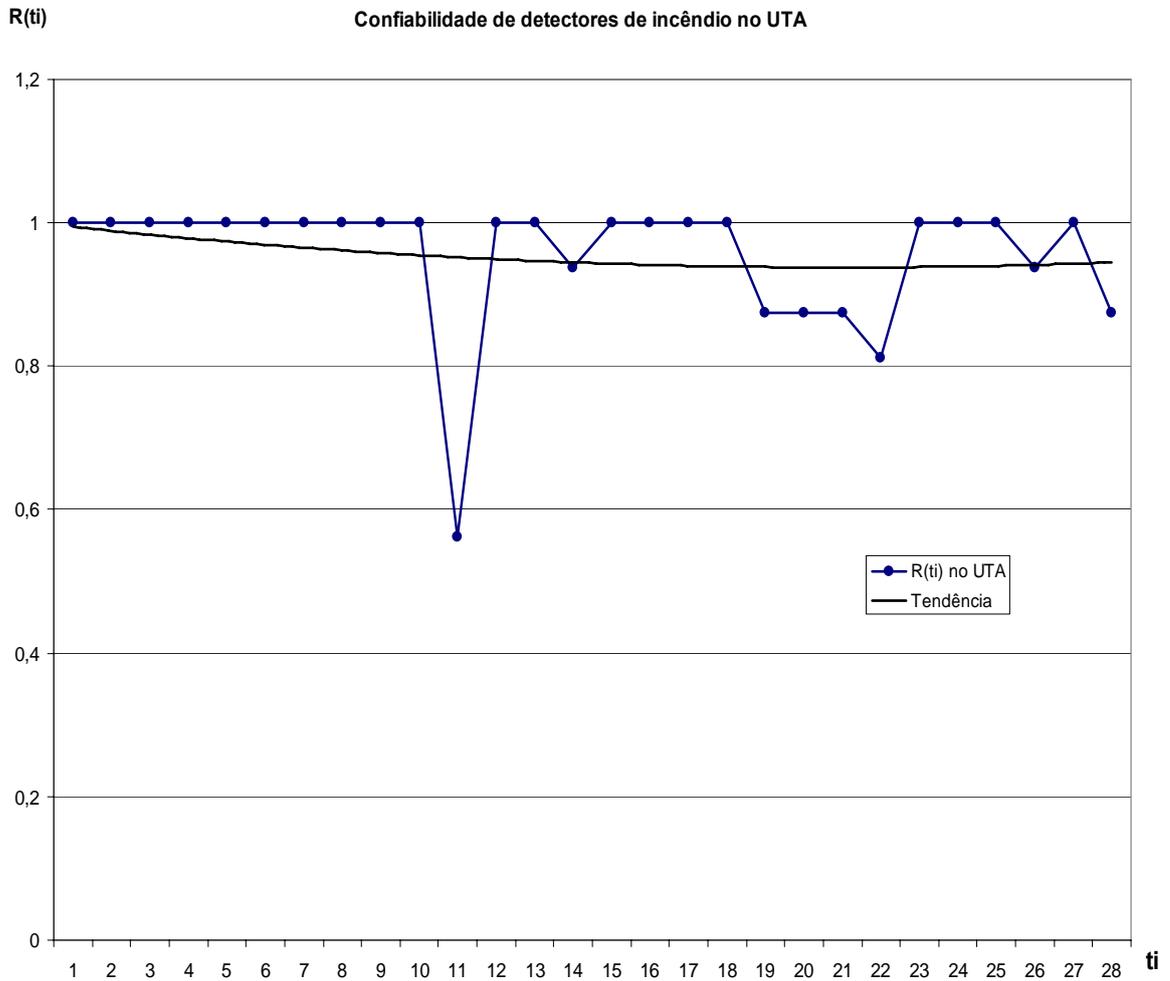


Figura 50 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UTA.

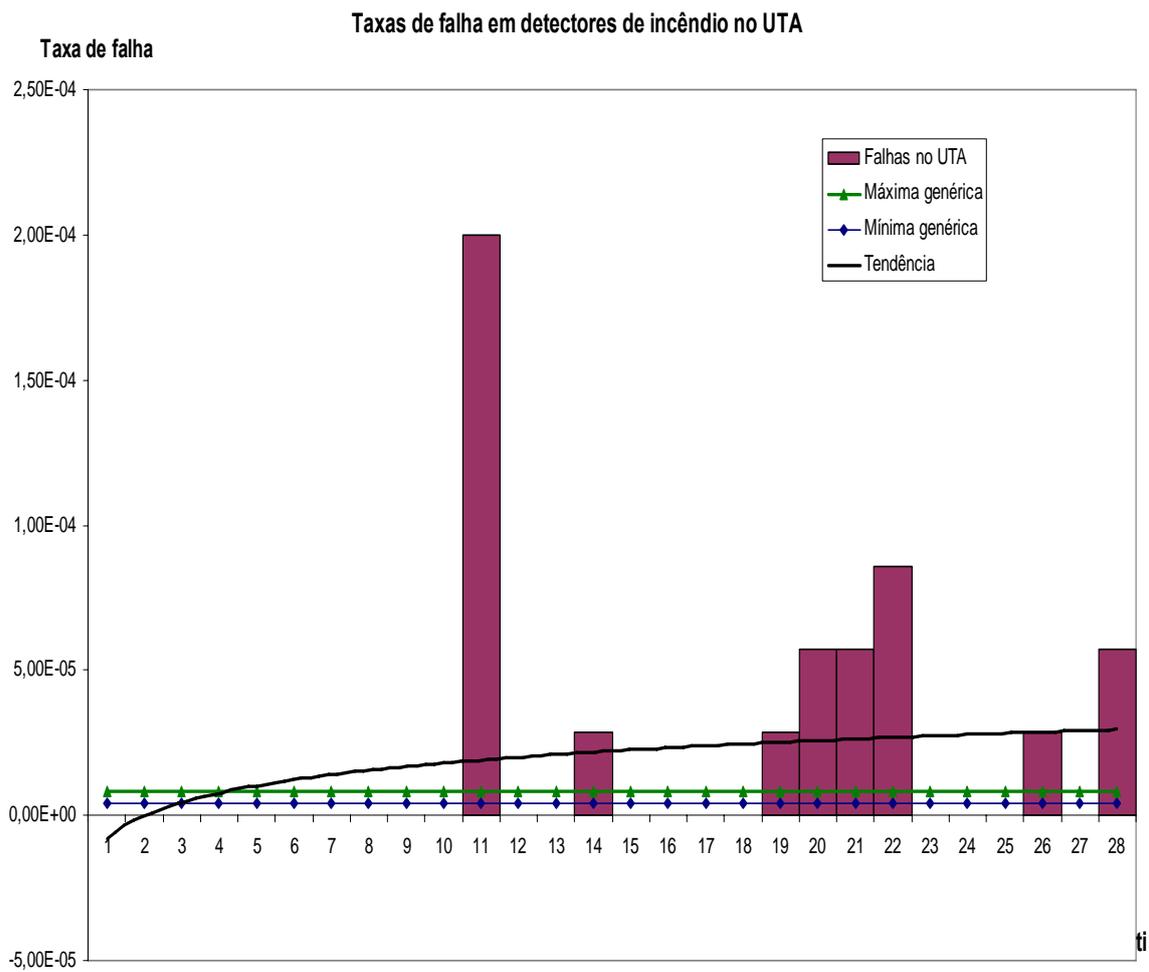


Figura 51 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UTA.

### 3.3.23 - Edifício dos Escritórios e Administração -UYA

Edifício administrativo dedicado a escritórios. Ambiente com ar condicionado. Sujeito a condensação em casos de falha ou isolamento da ventilação e presença de água oriunda de extravasamento de gaxetas de bombas do sistema de refrigeração.

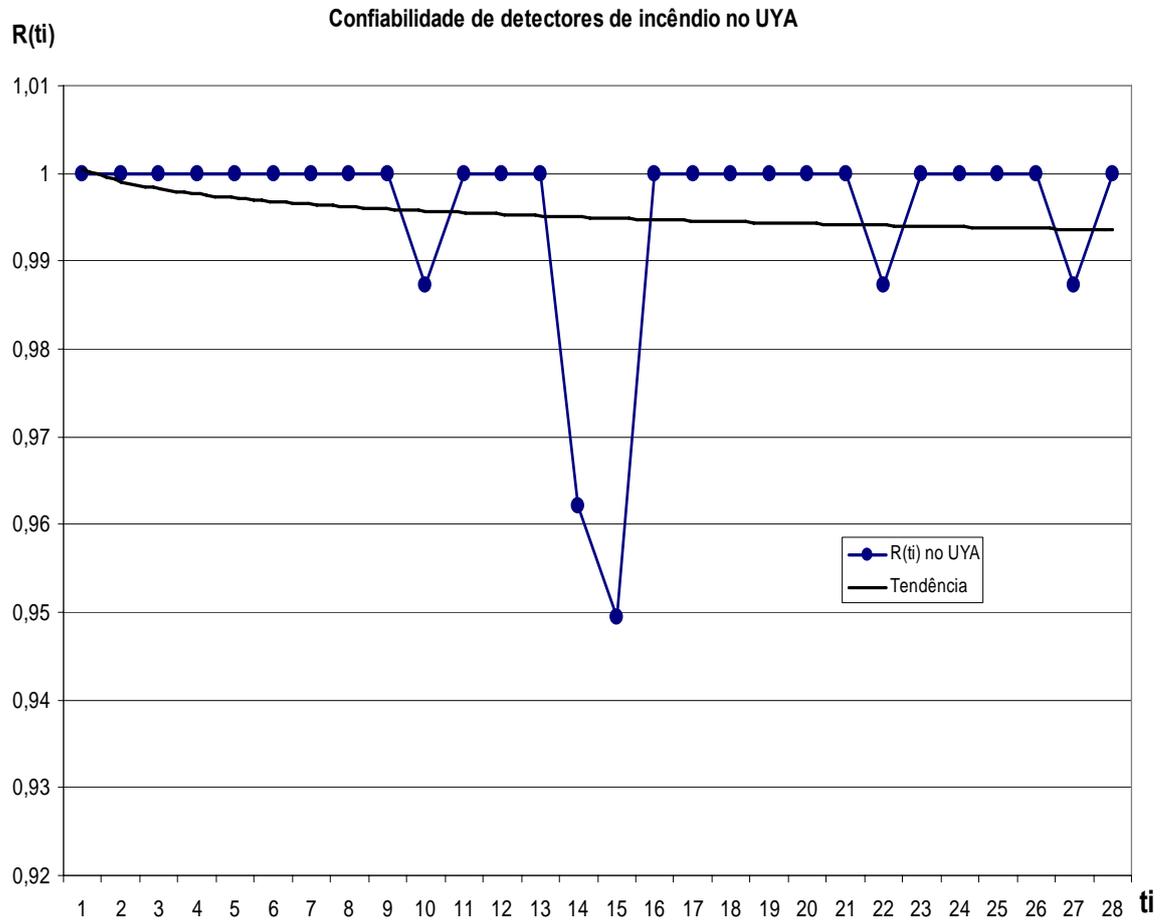


Figura 52 – Gráfico da confiabilidade de detectores no UYA.

### Taxas de falhas de detectores de incêndio no UYA

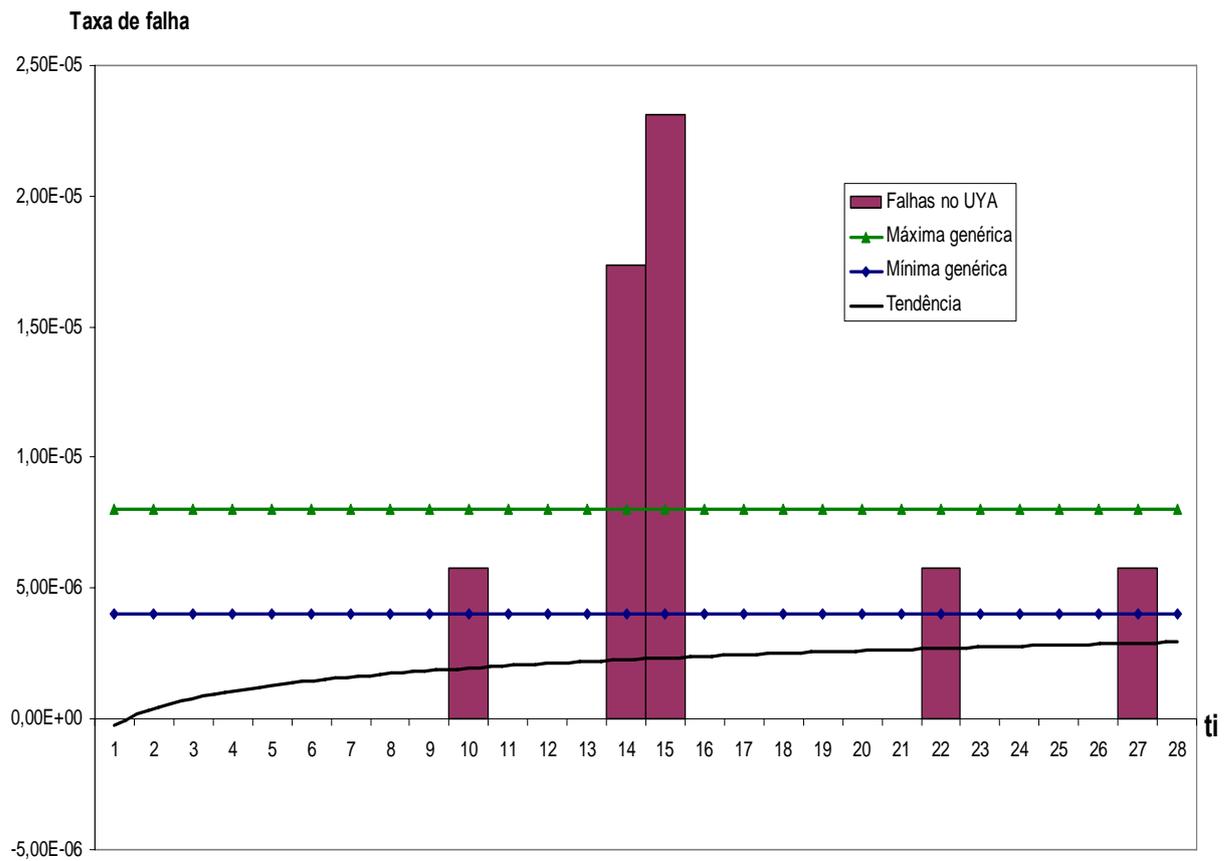


Figura 53 – Gráfico das taxas de falhas de detectores de incêndio no UYA.

#### 4- FALSOS ALARMES NO SISTEMA DE ALARME DE INCÊNDIO

Durante o período de 2 semanas de operação normal da planta, foram contabilizados utilizando registros impressos do SISTEMA DE ALARME DE INCÊNDIO de 56 falsos alarmes de incêndio, a partir do qual se pode extrapolar para uma previsão de 1.456 falsos alarmes ao ano. É requerida verificação local pelo operador da área para possível reconhecimento do alarme e espera até que desapareça ou para ser colocado em desvio até que uma ação de manutenção seja executada para reparar o detector ou linha com falha.

A freqüência de falsos alarmes provoca alguns efeitos indesejáveis, tais como:

- Deslocamento desnecessário de operador ou bombeiro ao local de origem para averiguar a veracidade do alarme;
- Aumento da carga de trabalho na sala de controle, podendo provocar ou atraso ou desvio de ações operacionais mais relevantes à segurança da planta ou sua disponibilidade. Desvio da atenção do operador na execução de suas tarefas;
- Acesso desnecessário a locais de alta radiação ou de taxa de dose acima do limite de livre acesso, onde há a necessidade de avaliação da proteção radiológica quanto às medidas protetivas para o acesso;
- Onde há câmeras de monitoração (p/ ex. Bombas de refrigeração do reator) há necessidade de acesso para verificação do alarme, visto ser comum que estas câmeras apresentem falha ao longo do ciclo operativo devido à exposição à radiação, perdendo-se a monitoração remota da área;
- Com uma freqüência maior de determinado alarme, como ocorre em áreas sujeitas à presença ocasional de fumantes (mesmo que proibido) há uma tendência do operador iniciar um processo de tolerância ou complacência, tendendo a reduzir a importância da verificação imediata a uma tarefa de baixa prioridade e podendo atrasar o combate em caso de um incêndio real.

Há no histórico operacional de uma usina nuclear, evento em que um alarme contumaz de falha de sistema gerador de hipoclorito de sódio. Este sistema tem como subproduto, a liberação de hidrogênio. Devido à certeza da veracidade do alarme de incêndio, que veio juntamente com o alarme de falha do sistema, foi possível definir que havia uma situação anormal e real. Desta forma o operador pôde fazer o desligamento manual do sistema desde a área externa do prédio, ao invés de acessar a área sinistrada, como faria em uma simples verificação de rotina.

A participação do operador pode ser decisiva, analisa FULLWOOD (1998), para influenciar os cenários de acidente pela extinção de incêndios, operando manualmente

equipamentos ou reparando equipamentos. Informações falsas podem levá-lo a aumentar a gravidade ou as conseqüências de um incêndio.

## 5. OS PROBLEMAS E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES

### 5.1 - Classificações dos problemas e possíveis soluções

Após pesquisa de campo, sistemas de controle de trabalho e arquivo de documentos da usina foram encontrados problemas ou incorreções de várias áreas e disciplinas que contribuem para a redução da confiabilidade do sistema de detecção em serviço.

As principais causas de ineficiência são listadas abaixo e suas possíveis soluções para redução ou correção definitiva, reduzindo as taxas de falha e o conseqüente aumento da confiabilidade do sistema.

#### 5.1.1-Problemas de instalação e comissionamento:

- Pela experiência operacional internacional a alocação de detectores foi feita usando como base a mesma filosofia usada em alocação de luminárias, provocando problemas de desempenho ou uso incorreto de detectores.

Exemplo: Há detectores instalados defronte a bocas de saída de ar condicionado, provocando dificuldades de detecção devido à dispersão de uma possível fumaça bem como a ocorrência de condensação no detector em distúrbios de temperatura do sistema de ar condicionado; ou mesmo defronte a perfis de sustentação de bandejas de cabos bloqueando as aberturas do detector.

- Tendo como base os detectores de projeto, os detectores utilizados nos prédios onde há vapor, tais como caldeiras e tubulações de vapor principal (edifícios UTA e UMA), deveriam ser utilizados detectores termovelocimétricos e não óticos e de ionização, onde a condensação prejudica o seu funcionamento, provocando alarmes espúrios e deterioração antecipada do detector;

Solução – Durante a substituição dos detectores obsoletos, deve ser executada a realocação dos detectores que está em desacordo com os requisitos de norma, tanto quanto a sua posição quanto ao tipo específico para cada uso ou condição ambiental da sala ou área de incêndio que monitora.

### 5.1.2 - Problemas de fornecimento de materiais de reposição:

- Os detectores utilizados não possuem mais peças de reposição devido a obsolescência, nem mesmo na Alemanha, país de origem;
- O sistema de detecção Sistema de Alarme de Incêndio compreendendo painéis e programas de ordenação de alarmes bem como painéis de interface com outros sistemas é de tecnologia obsoleta e sem peças de reposição para painéis e centrais de alarme;

Solução – Busca de novos fornecedores de materiais no mercado interno e externo, com proposta tecnológica mais moderna, incluindo expansibilidade e comunicação com sistemas informatizados e não exclusivos daquele fabricante, com saída de sinais para sistemas de armazenamento externo e de atuação para combate a incêndio (CXR).

A necessidade de instalação de detectores em áreas de radiação deve ser incluída nas especificações de equipamentos, de forma que a vida útil e confiabilidade dos equipamentos expostos à radiação possam evitar repetidos acessos e exposição de trabalhadores para reparos nestes equipamentos. Em Angra1 já tem sido testados detectores de pelo menos um fornecedor no IPEN (Instituto de Pesquisas de Energia Nuclear – São Paulo) com resultados satisfatórios.

### 5.1.3 - Problemas de projeto:

- Alocação de detectores em áreas de incêndio distintas das descritas no projeto, provocam disparos imprevistos em áreas diferentes das requeridas em testes periódicos; (ex.: disparos de *sprinklers* em galerias do UBA; salas de cabos do UKA)

Solução – A atualização do “*as-built*” do sistema de incêndio da usina em estudo reduziria estas ocorrências bem como a correção nos arquivos do sistema de monitoração em uso para sua correta operação durante ocorrência de incêndio ou testes.

#### 5.1.4 - Problemas de atualização tecnológica:

- Atualmente o sistema de detecção existente não possui recursos técnicos de expansão e de comunicação com os detectores modernos, impedindo a sua utilização.

Solução - A solução admitida atualmente reside na substituição de detectores e sistema de detecção, aproveitando apenas o cabeamento existente que atende aos requisitos dos detectores modernos.

- Os detectores mais modernos são de dupla função: térmicos e óticos e de temperatura fixa, substituindo os obsoletos termovelocimétricos e os de ionização com câmara de Amerício, hoje ainda não proibidos em seu uso devido a comportar material radioativo, mas de gradativa substituição no mercado.

#### 5.1.5 - Problemas de armazenamento e rastreabilidade:

- O Sistema de Alarme de Incêndio não possui dispositivo de armazenamento de alarmes, sendo apenas registrado em papel pelas impressoras da Sala de Controle e Sala de Equipamentos. Sendo este registro não acessível em meio magnético, fica impossibilitado um acompanhamento estatístico dos alarmes e falhas, dificultando a análise da confiabilidade do sistema. O Computador de Alarmes R40 que seria uma alternativa para registro de alarme genérico de “Alarme de Incêndio”, tem sido reiniciado várias vezes por semana devido a travamentos com conseqüente perda de períodos de monitoração de vários alarmes, incluindo os de incêndio.
- O Arquivo de Dados de Alarme de Incêndio previsto na descrição inicial do projeto do sistema é alimentado manualmente pelo operador do sistema com informações de alarmes para fornecer informações sobre as instalações de proteção contra-incêndio para o pessoal de operação e brigada de incêndio.
- Pela mesma razão, caso não haja monitoração de suprimentos para as impressoras, bem como o seu contínuo funcionamento, ficam irremediavelmente perdidas todas as informações e registros de alarmes do Sistema de Alarme de Incêndio enquanto as impressoras ficarem indisponíveis. A análise de um sinistro

é completamente comprometida pela falta de dados perdidos por estas fragilidades.

Solução – A substituição do sistema de monitoração por outro que possibilite interface com sistemas de armazenamento e banco de dados, aumentando a capacidade de rastreabilidade dos alarmes e falhas do sistema e detectores.

A alimentação do Arquivo de Dados de Alarme poderia aí passar a ser realizada automaticamente, possibilitando além de mais rápida localização do incêndio, armazenamento de ocorrências ali também.

- O registro de falhas no sistema de controle de trabalho é mensal, e não individual por falha. Esta ação é requerida visto que o Sistema de Alarme de Incêndio não possui sistema de armazenamento de dados de falhas e alarmes ou interface com sistemas de armazenamento mais modernos. Esta fragilidade impede uma pesquisa rápida das taxas de falha de detectores e equipamentos do sistema de detecção, visto que no sistema de controle de trabalho, as falhas são registradas mensalmente e em um único relatório em formato de texto, sendo requeridas várias horas para tabulação manual dos dados registrados em uma pesquisa de confiabilidade do sistema.
- O registro de falha e atividade de manutenção de detectores deve ser feito não mais endereçado à posição no sistema, mas pelo número de série do detector falhado, para possibilitar um rastreamento da sua disponibilidade e desempenho em testes pós-manutenção, podendo-se ter uma idéia clara sobre comportamento devido a envelhecimento e condições ambientais adversas.

Solução:

Há necessidade de modificação de método de registro de falhas de detectores.

Quando alarme de falha ou atuação, estes devem ser registrados individualmente em meio magnético via planilha eletrônica ou banco de dados, preferencialmente os mais simples e conhecidos do mercado, evitando sistemas complexos e de difícil utilização.

Quando de manutenção requerida em detector, deve ser feito o registro da manutenção referenciada ao número de série do componente.

A formatação de entrada de dados de manutenção também deve ser alterada para formulários eletrônicos que reduzam a utilização de texto corrido e privilegiem a ordenação das falhas por tipo ou categoria, bem como os recursos utilizados para a sua correção. Possibilita a quantificação de materiais e tendências de tipos de falhas e

identificação mais acurada de causas, possibilitando intervenção em fatores ambientais ou de operação que possam produzir um aumento de falhas.

#### 5.1.6 - Problemas de interface com outros sistemas:

- Conforme observado em pesquisas de campo, quando há isolamentos de sistemas de ventilação há um aumento de falhas de detectores devido a condensação, umidade e curto-circuito.

As salas mais afetadas por problemas de umidade se encontram nos edifícios de Controle (UBA), de Suprimento de Potência e Água de Alimentação de Emergência (ULB); do Sistema de Produção de Água Desmineralizada (UGD); da Turbina (UMA) e da Tomada D'Água de Circulação dos Sistemas de Segurança (1UQB).

#### Solução:

Seria possível reduzir estas ocorrências fazendo uma avaliação para redução da frequência de intervenções sobre ventiladores. Em especial, os de caráter preventivo, visto que há um número grande de ordens de serviço com isolamento (desenergização) destes ventiladores para verificação de tensão de correias e de sensores de velocidade, menor que o de falhas ou intervenções corretivas, quando o isolamento é inevitável.

Outra providência de cunho prático poderia ser a adotada na usina de Bradwell, onde foi avaliada a forma de montagem dos detectores junto ao fabricante, de forma a evitar o acúmulo de condensado, quando ocorrer desligamentos do sistema de ventilação. Em especial atenção às salas mencionadas acima, onde há uma incidência maior de condensação e freqüentes ações de manutenção e limpeza de detectores.

## 6 – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O Método Não Paramétrico utilizado na análise de confiabilidade demonstrou sua eficácia no mapeamento das taxas de falha de detectores de incêndio.

O levantamento de dados proporcionou um melhor entendimento do comportamento do sistema de detecção em cada prédio, permitindo melhoria no processo decisório de adoção de soluções de engenharia mais adequadas a cada prédio e condição ambiental a que o sistema fica submetido.

Em que pese ser um assunto complexo e de demorada, a solução do problema de confiabilidade da detecção é possível, sendo requerida pesquisa mais acurada da rotina de funcionamento da planta, visto que as premissas adotadas em projeto nem sempre correspondem à realidade operacional.

Dentre as soluções apresentadas está a de substituição total do sistema de monitoração e dos detectores para outros de tecnologia mais moderna. No entanto, há também a necessidade de criação de uma filosofia de reposição de componentes que privilegie quando não o mercado nacional, mas pelo menos seja focada na versatilidade dos componentes e que seja o mais intercambiável possível. O risco de o problema de reposição de peças novamente se restringir a um ou dois fabricantes a que o sistema seja dedicado pode ser alto demais para a organização, levando-a a fazer nova e dispendiosa substituição completa do sistema.

As recomendações abaixo tornam-se necessárias, após o exposto neste trabalho:

- É recomendável a verificação da necessidade de substituição dos detectores obsoletos, assim como a realocação dos detectores que está em desacordo com os requisitos de norma, tanto quanto a sua posição quanto ao tipo específico para cada uso.
- Buscar novos fornecedores de materiais no mercado interno e externo, com proposta tecnológica mais moderna, incluindo expansibilidade e comunicação com sistemas informatizados
- Iniciar a atualização de desenhos (“*as-buit*”) do Sistema de Detecção de Incêndio da usina em estudo reduziria estas ocorrências para sua correta operação durante ocorrência de incêndio ou testes.
- A substituição do sistema de monitoração por outro que possibilite interface com sistemas de armazenamento e banco de dados, aumentando a capacidade de rastreabilidade dos alarmes e falhas do sistema e detectores. A alimentação do Arquivo de Dados de Alarme poderia aí passar a ser realizada automaticamente,

- Há necessidade de modificação de método de registro de falhas de detectores. Estes devem ser registrados individualmente, via planilha eletrônica ou banco de dados, e evitando sistemas complexos e de difícil utilização;
- Fazer uma avaliação da redução da frequência de intervenções sobre ventiladores
- Avaliar a utilização dos dados levantados neste trabalho para a elaboração futura de uma Análise Probabilística de Segurança de Incêndio.

## APÊNDICE

## APÊNDICE

### TABELAS DE DADOS DE FALHAS DOS EDIFÍCIOS E ESTRUTURAS

TABELA 1: DATAS E PERÍODOS DE AGRUPAMENTO

A tabela abaixo é um exemplo de tabulação dos dados de falha em períodos de aproximadamente 90 dias de forma a evitar aproximações grosseiras nos dados de falha, na tentativa de tabular em intervalos menores.

datas	intervalo	Acumulado	Em períodos de 90 dias	Falhas 1-2UQB	Falhas por intervalo
9/1/2001	0	0	0	0	0
5/3/2001	55	55	1	0	0
30/5/2001	86	141	2	0	
12/6/2001	13	154	2	0	
27/6/2001	15	169	2	0	0
21/12/2001	176	346	3	0	0
2/1/2002	12	358	4	0	
31/1/2002	29	387	4	0	0
5/3/2002	33	420	5	0	0
27/8/2002	175	595	6	0	0
28/8/2002	1	596	7	0	
3/10/2002	36	632	7	0	
5/11/2002	33	665	7	0	0
11/12/2002	36	701	8	0	
14/1/2003	34	735	8	0	0
14/3/2003	59	794	9	0	
15/4/2003	32	826	9	0	0
16/5/2003	31	857	10	0	
4/6/2003	19	876	10	0	
4/7/2003	30	906	10	1	
1/8/2003	28	934	10	1	2
2/9/2003	32	966	11	0	0
7/1/2004	127	1093	12	0	0
6/3/2004	59	1152	13	0	
30/3/2004	24	1176	13	0	
30/4/2004	31	1207	13	0	
4/5/2004	4	1211	13	1	1
4/6/2004	31	1242	14	0	
6/7/2004	32	1274	14	0	
30/7/2004	24	1298	14	1	1
4/10/2004	66	1364	15	1	1
5/11/2004	32	1396	16	1	
10/12/2004	35	1431	16	0	
3/1/2005	24	1455	16	1	2
4/4/2005	91	1546	17	2	2
2/5/2005	28	1574	18	3	3
3/2/2006	277	1851	19	0	0
28/3/2006	53	1904	20	0	0
24/4/2006	27	1931	21	2	2
22/5/2006	28	1959	22	2	
19/6/2006	28	1987	22	1	
17/7/2006	28	2015	22	2	5
11/8/2006	25	2040	23	0	
11/9/2006	31	2071	23	0	0
6/11/2006	56	2127	24	0	
1/12/2006	25	2152	24	0	
29/12/2006	28	2180	24	0	0
29/1/2007	31	2211	25	0	
26/2/2007	28	2239	25	0	
26/3/2007	28	2267	25	1	
26/3/2007	0	2267	25	1	2
21/5/2007	56	2323	26	0	
18/6/2007	28	2351	26	0	
16/7/2007	28	2379	26	0	0
13/8/2007	28	2407	27	0	
10/9/2007	28	2435	27	1	
8/10/2007	28	2463	27	1	2

Os campos em cinza representam as somas das falhas em cada período

TABELA: 2: 1-2 UQB – Estrutura da Tomada D'Água de Segurança

i no.de intervalos de 90 dias	t <sub>i</sub> intervalos de observação (meses)	No. de falhas de Detectores no intervalo	Total de detectores	n <sub>i</sub> (sobreviven tes) = total falhas	R(t <sub>i</sub> ) = n <sub>i</sub> /N	F =1-R(t <sub>i</sub> )	$\lambda(t_i)$ =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> -t <sub>i</sub> ) N (ao mês)	$\lambda(t_i)$ =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> -t <sub>i</sub> ) N (por hora)
0	0	0	21	21	1	0	0	0
1	3	0	21	21	1	0	0	0
2	6	0	21	21	1	0	0	0
3	9	0	21	21	1	0	0	0
4	12	0	21	21	1	0	0	0
5	15	0	21	21	1	0	0	0
6	18	0	21	21	1	0	0	0
7	21	0	21	21	1	0	0	0
8	24	0	21	21	1	0	0	0
9	27	0	21	21	1	0	0	0
10	30	2	21	19	0,9048	0,0952	0,031746032	4,34877E-05
11	33	0	21	21	1	0	0	0
12	36	0	21	21	1	0	0	0
13	39	1	21	20	0,9524	0,0476	0,01587	2,17439E-05
14	42	1	21	20	0,9524	0,0476	0,01587	2,17439E-05
15	45	1	21	20	0,9524	0,0476	0,01587	2,17439E-05
16	48	2	21	19	0,9048	0,0952	0,03175	4,34877E-05
17	51	2	21	19	0,9048	0,0952	0,03175	4,34877E-05
18	54	3	21	18	0,8571	0,1429	0,04762	6,52316E-05
19	57	0	21	21	1	0	0	0
20	60	0	21	21	1	0	0	0
21	63	2	21	19	0,9048	0,0952	0,03175	4,34877E-05
22	66	5	21	16	0,7619	0,2381	0,07937	1,09E-04
23	69	0	21	21	1	0	0	0
24	72	0	21	21	1	0	0	0
25	75	2	21	19	0,9048	0,0952	0,03175	4,34877E-05
26	78	0	21	21	1	0	0	0
27	81	2	21	19	0,9048	0,0952	0,031746032	4,34877E-05
28	84	3	21	18	0,8571	0,1429	0,047619048	6,52316E-05

TABELA 3: 1-4ULZ – Galerias de Cabos do Edifício de Água de Alimentação e Suprimento de Potência de Emergência 2

i no.de intervalos de 90 dias	t <sub>i</sub> intervalos de observação (meses)	No. de falhas de Detectores no intervalo	Total de detectores	n <sub>i</sub> = total - falhas (sobreviventes)	R(t <sub>i</sub> ) = n <sub>i</sub> /N	F =1-R(t <sub>i</sub> )	$\lambda(t_i) = (N - n_i) / (t_{i+1} - t_i) N$ (ao mês)	$\lambda(t_i) = (N - n_i) / (t_{i+1} - t_i) N$ (por hora)
0	0	0	28	28	1	0	0	0
1	3	0	28	28	1	0	0	0
2	6	0	28	28	1	0	0	0
3	9	0	28	28	1	0	0	0
4	12	0	28	28	1	0	0	0
5	15	0	28	28	1	0	0	0
6	18	0	28	28	1	0	0	0
7	21	0	28	28	1	0	0	0
8	24	0	28	28	1	0	0	0
9	27	0	28	28	1	0	0	0
10	30	0	28	28	1	0	0	0
11	33	0	28	28	1	0	0	0
12	36	0	28	28	1	0	0	0
13	39	0	28	28	1	0	0	0
14	42	0	28	28	1	0	0	0
15	45	0	28	28	1	0	0	0
16	48	0	28	28	1	0	0	0
17	51	0	28	28	1	0	0	0
18	54	0	28	28	1	0	0	0
19	57	2	28	26	0,929	0,071429	0,02381	3,26158E-05
20	60	1	28	27	0,964	0,035714	0,01190	1,63079E-05
21	63	0	28	28	1	0	0,00000	0
22	66	0	28	28	1	0	0,00000	0
23	69	0	28	28	1	0	0,00000	0
24	72	1	28	27	0,964	0,035714	0,01190	1,63079E-05
25	75	4	28	24	0,857	0,142857	0,04762	6,52316E-05
26	78	0	28	28	1	0	0	0
27	81	0	28	28	1	0	0	0
28	84	0	28	28	1	0	0	0

TABELA 4: 1-4 UMZ – Galerias de Cabos do Edifício da Turbina

i no.de intervalos de 90 dias	t <sub>i</sub> intervalos de observação (meses)	No. de falhas de Detectores no intervalo	Total de detectores	n <sub>i</sub> (sobreviventes) = total - falhas	R(t <sub>i</sub> ) = n <sub>i</sub> /N	F =1-R(t <sub>i</sub> )	$\lambda(t_i) = (N - n_i) / (t_{i+1} - t_i) N$ (ao mês)	$\lambda(t_i) = (N - n_i) / (t_{i+1} - t_i) N$ (por hora)
0	0	0	39	39	1	0	0	0
1	3	0	39	39	1	0	0	0
2	6	0	39	39	1	0	0	0
3	9	0	39	39	1	0	0	0
4	12	0	39	39	1	0	0	0
5	15	0	39	39	1	0	0	0
6	18	0	39	39	1	0	0	0
7	21	0	39	39	1	0	0	0
8	24	0	39	39	1	0	0	0
9	27	0	39	39	1	0	0	0
10	30	1	39	38	0,9744	0,0256	0,00855	1,17082E-05
11	33	0	39	39	1	0	0	0
12	36	0	39	39	1	0	0	0
13	39	0	39	39	1	0	0	0
14	42	0	39	39	1	0	0	0
15	45	0	39	39	1	0	0	0
16	48	1	39	38	0,9744	0,0256	0,00855	1,17082E-05
17	51	0	39	39	1	0	0	0
18	54	0	39	39	1	0	0	0
19	57	2	39	37	0,9487	0,0513	0,01709	2,34165E-05
20	60	1	39	38	0,9744	0,0256	0,00855	1,17082E-05
21	63	0	39	39	1	0	0	0
22	66	0	39	39	1	0	0	0
23	69	0	39	39	1	0	0	0
24	72	1	39	38	0,9744	0,0256	0,00855	1,17082E-05
25	75	0	39	39	1	0	0	0
26	78	0	39	39	1	0	0	0
27	81	0	39	39	1	0	0	0
28	84	0	39	39	1	0	0	0

APENDICE 4

TABELA 5: 1-9 UBZ – Galerias de cabos do Edifício de Controle

$i$ no.de intervalos de 90 dias	$t_i$ intervalos de observação (meses)	No. de falhas de Detectores no intervalo	Total de detectores	$n_i$ (sobreviv entes) = total - falhas	$R(t_i)$ = $n_i/N$	$F$ = $1-R(t_i)$	$\lambda(t_i)$ = $(N- n_i)/(t_{i+1} -t_i) N$ (ao mês)	$\lambda(t_i)$ = $(N- n_i)/(t_{i+1} -t_i) N$ (por hora)
0	0	0	88	88	1	0	0	0
1	3	0	88	88	1	0	0	0
2	6	0	88	88	1	0	0	0
3	9	0	88	88	1	0	0	0
4	12	0	88	88	1	0	0	0
5	15	0	88	88	1	0	0	0
6	18	0	88	88	1	0	0	0
7	21	0	88	88	1	0	0	0
8	24	0	88	88	1	0	0	0
9	27	0	88	88	1	0	0	0
10	30	0	88	88	1	0	0	0
11	33	0	88	88	1	0	0	0
12	36	0	88	88	1	0	0	0
13	39	2	88	86	0,977273	0,02273	0,007575758	1,03778E-05
14	42	0	88	88	1	0	0	0
15	45	0	88	88	1	0	0	0
16	48	0	88	88	1	0	0	0
17	51	0	88	88	1	0	0	0
18	54	0	88	88	1	0	0	0
19	57	0	88	88	1	0	0	0
20	60	0	88	88	1	0	0	0
21	63	0	88	88	1	0	0	0
22	66	0	88	88	1	0	0	0
23	69	0	88	88	1	0	0	0
24	72	0	88	88	1	0	0	0
25	75	0	88	88	1	0	0	0
26	78	3	88	85	0,965909	0,03409	0,011363636	1,55666E-05
27	81	0	88	88	1	0	0	0
28	84	0	88	88	1	0	0	0

TABELA 6: UBA - Edifício de Controle

i no.de intervalos de 90 dias	t <sub>i</sub> intervalos de observação (meses)	No. de falhas de Detectores no intervalo	Total de detectores	n <sub>i</sub> (sobreviv entes) = total - falhas	R(t <sub>i</sub> ) = n <sub>i</sub> /N	F =1-R(t <sub>i</sub> )	$\lambda(t_i) = (N - n_i) / (t_{i+1} - t_i)$ hora)
0	0	0	775	775	1	0	0
1	3	1	775	774	0,9987	0,00129	5,89188E-07
2	6	2	775	773	0,9974	0,00258	1,17838E-06
3	9	1	775	774	0,9987	0,00129	5,89188E-07
4	12	1	775	774	0,9987	0,00129	5,89188E-07
5	15	0	775	775	1	0	0
6	18	1	775	774	0,9987	0,00129	5,89188E-07
7	21	2	775	773	0,9974	0,00258	1,17838E-06
8	24	17	775	758	0,9781	0,02194	1,00162E-05
9	27	2	775	773	0,9974	0,00258	1,17838E-06
10	30	18	775	757	0,9768	0,02323	1,06054E-05
11	33	0	775	775	1	0	0
12	36	9	775	766	0,9884	0,01161	5,3027E-06
13	39	30	775	745	0,9613	0,03871	1,76757E-05
14	42	18	775	757	0,9768	0,02323	1,06054E-05
15	45	0	775	775	1	0	0
16	48	4	775	771	0,9948	0,00516	2,35675E-06
17	51	13	775	762	0,9832	0,01677	7,65945E-06
18	54	0	775	775	1	0	0
20	60	0	775	775	1	0	0
21	63	13	775	762	0,9832	0,01677	7,65945E-06
22	66	31	775	744	0,96	0,04	1,82648E-05
23	69	2	775	773	0,9974	0,00258	1,17838E-06
24	72	34	775	741	0,9561	0,04387	2,00324E-05
25	75	18	775	757	0,9768	0,02323	1,06054E-05
26	78	20	775	755	0,9742	0,02581	1,17838E-05
27	81	19	775	756	0,9755	0,02452	1,11946E-05
28	84	2	775	773	0,9974	0,00258	1,17838E-06

TABELA 7:

UBC – Área do Transformador do Suprimento Auxiliar –BCT ,

UBE – Baias dos Transformadores de Tensão de Saída (BAT)

UBF – Baias dos Transformadores de Suprimentos aos Sistemas Auxiliares - BBT

<b>i</b> no.de intervalos de 90 dias	<b>t<sub>i</sub></b> intervalos de observação (meses)	No. de falhas de Detector es no intervalo	Total de detectores	<b>n<sub>i</sub></b> (sobreviv entes) = total - falhas	<b>R(t<sub>i</sub>)</b> = n <sub>i</sub> /N	<b>F</b> =1-R(t <sub>i</sub> )	<b>λ(t<sub>i</sub>)</b> =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> -t <sub>i</sub> ) N (ao mês)	<b>λ(t<sub>i</sub>)</b> =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> -t <sub>i</sub> ) N (por hora)
0	0	0	12	12	1	0	0	0
1	3	0	12	12	1	0	0	0
2	6	0	12	12	1	0	0	0
3	9	0	12	12	1	0	0	0
4	12	0	12	12	1	0	0	0
5	15	0	12	12	1	0	0	0
6	18	0	12	12	1	0	0	0
7	21	2	12	10	0,8333	0,16667	0,055556	7,6104E-05
8	24	1	12	11	0,9167	0,08333	0,027778	3,8052E-05
9	27	0	12	12	1	0	0	0
10	30	0	12	12	1	0	0	0
11	33	0	12	12	1	0	0	0
12	36	0	12	12	1	0	0	0
13	39	1	12	11	0,9167	0,08333	0,027778	3,8052E-05
14	42	0	12	12	1	0	0	0
15	45	0	12	12	1	0	0	0
16	48	0	12	12	1	0	0	0
17	51	0	12	12	1	0	0	0
18	54	0	12	12	1	0	0	0
19	57	0	12	12	1	0	0	0
20	60	0	12	12	1	0	0	0
21	63	0	12	12	1	0	0	0
22	66	0	12	12	1	0	0	0
23	69	0	12	12	1	0	0	0
24	72	0	12	12	1	0	0	0
25	75	0	12	12	1	0	0	0
26	78	1	12	11	0,9167	0,08333	0,027778	3,8052E-05
27	81	2	12	10	0,8333	0,16667	0,055556	7,6104E-05
28	84	1	12	11	0,9167	0,08333	0,027778	3,8052E-05

TABELA 8: UBD – Baias dos Transformadores Rebaixadores de Tensão – BHT/BFT

i no.de intervalos de 90 dias	t <sub>i</sub> intervalos de observação (meses)	No. de falhas de Detectores no intervalo	Total de detectores	n <sub>i</sub> (sobrevive ntes) = total - falhas	R(t <sub>i</sub> ) = ni/N	F =1-R(ti)	$\lambda(t_i)$ = (N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> -t <sub>i</sub> ) N (por hora)
0	0	0	55	55	1	0	0
1	3	0	55	55	1	0	0
2	6	0	55	55	1	0	0
3	9	0	55	55	1	0	0
4	12	0	55	55	1	0	0
5	15	0	55	55	1	0	0
6	18	0	55	55	1	0	0
7	21	0	55	55	1	0	0
8	24	0	55	55	1	0	0
9	27	0	55	55	1	0	0
10	30	0	55	55	1	0	0
11	33	0	55	55	1	0	0
12	36	0	55	55	1	0	0
13	39	0	55	55	1	0	0
14	42	1	55	54	0,982	0,01818	8,3022E-06
15	45	0	55	55	1	0	0
16	48	0	55	55	1	0	0
17	51	0	55	55	1	0	0
18	54	0	55	55	1	0	0
20	60	0	55	55	1	0	0
21	63	0	55	55	1	0	0
22	66	0	55	55	1	0	0
23	69	0	55	55	1	0	0
24	72	0	55	55	1	0	0
25	75	0	55	55	1	0	0
26	78	0	55	55	1	0	0
27	81	0	55	55	1	0	0

TABELA9: UBP – Edifício de Suprimento de Potência de Emergência e da Central de Água Gelada

i no.de intervalos de 90 dias	t <sub>i</sub> intervalos de observação (meses)	No. de falhas de Detectores no intervalo	Total de detectores	n <sub>i</sub> (sobreviventes) = total - falhas	R(t <sub>i</sub> ) = n <sub>i</sub> /N	F =1-R(t <sub>i</sub> )	$\lambda(t_i)$ = (N - n <sub>i</sub> ) / (t <sub>i+1</sub> - t <sub>i</sub> ) N (ao mês)	$\lambda(t_i)$ = (N - n <sub>i</sub> ) / (t <sub>i+1</sub> - t <sub>i</sub> ) N (por hora)
0	0	1	61	60	0,9836	0,01639	0,005464481	7,48559E-06
1	3	0	61	61	1	0	0	0
2	6	0	61	61	1	0	0	0
3	9	0	61	61	1	0	0	0
4	12	0	61	61	1	0	0	0
5	15	0	61	61	1	0	0	0
6	18	0	61	61	1	0	0	0
7	21	0	61	61	1	0	0	0
8	24	0	61	61	1	0	0	0
9	27	0	61	61	1	0	0	0
10	30	0	61	61	1	0	0	0
11	33	0	61	61	1	0	0	0
12	36	0	61	61	1	0	0	0
13	39	0	61	61	1	0	0	0
14	42	0	61	61	1	0	0	0
15	45	0	61	61	1	0	0	0
16	48	0	61	61	1	0	0	0
17	51	0	61	61	1	0	0	0
18	54	0	61	61	1	0	0	0
20	60	0	61	61	1	0	0	0
21	63	0	61	61	1	0	0	0
22	66	0	61	61	1	0	0	0
23	69	0	61	61	1	0	0	0
24	72	0	61	61	1	0	0	0
25	75	0	61	61	1	0	0	0
26	78	0	61	61	1	0	0	0
27	81	0	61	61	1	0	0	0
28	84	0	61	61	1	0	0	0

TABELA 10: UGD – Edifício do Sistema de Água Desmineralizada –GC

$i$ no.de intervalos de 90 dias	$t_i$ intervalos de observação (meses)	No. de falhas de Detectores no intervalo	Total de detectores	$n_i$ (sobreviv entes) = total - falhas	$R(t_i)$ = $n_i/N$	$F$ = $1-R(t_i)$	$\lambda(t_i)$ = $(N - n_i)/(t_{i+1} - t_i) N$ (ao mês)	$\lambda(t_i)$ = $(N - n_i)/(t_{i+1} - t_i) N$ (por hora)
0	0	0	31	31	1	0	0	0
1	3	0	31	31	1	0	0	0
2	6	0	31	31	1	0	0	0
3	9	0	31	31	1	0	0	0
4	12	0	31	31	1	0	0	0
5	15	0	31	31	1	0	0	0
6	18	0	31	31	1	0	0	0
7	21	0	31	31	1	0	0	0
8	24	0	31	31	1	0	0	0
9	27	0	31	31	1	0	0	0
10	30	0	31	31	1	0	0	0
11	33	0	31	31	1	0	0	0
12	36	5	31	26	0,83871	0,16129	0,05376344	7,36485E-05
13	39	0	31	31	1	0	0	0
14	42	2	31	29	0,93548	0,06452	0,02150538	2,94594E-05
15	45	0	31	31	1	0	0	0
16	48	2	31	29	0,93548	0,06452	0,02150538	2,94594E-05
17	51	1	31	30	0,96774	0,03226	0,01075269	1,47297E-05
18	54	1	31	30	0,96774	0,03226	0,00537634	7,36485E-06
20	60	0	31	31	1	0	0	0
21	63	0	31	31	1	0	0	0
22	66	0	31	31	1	0	0	0
23	69	0	31	31	1	0	0	0
24	72	7	31	24	0,77419	0,22581	0,07526882	0,000103108
25	75	5	31	26	0,83871	0,16129	0,05376344	7,36485E-05
26	78	0	31	31	1	0	0	0
27	81	0	31	31	1	0	0	0
28	84	0	31	31	1	0	0	0

TABELA 11: UJA - Edifício do Reator

$i$ no.de intervalo s de 90 dias	$t_i$ intervalo s de observa ção (meses)	No. de falhas de Detector es no intervalo	Total de detector es	$n_i$ (sobreviv entes) = total - falhas	$R(t_i)$ = $n_i/N$	$F$ = $1-R(t_i)$	$\lambda(t_i)$ = $(N-n_i)/(t_{i+1}-t_i)$ N (ao mês)	$\lambda(t_i)$ = $(N-n_i)/(t_{i+1}-t_i) N$ (por hora)
0	0	0	775	775	1	0	0	0
1	3	0	775	775	1	0	0	0
2	6	0	775	775	1	0	0	0
3	9	0	775	775	1	0	0	0
4	12	0	775	775	1	0	0	0
5	15	0	775	775	1	0	0	0
6	18	0	775	775	1	0	0	0
7	21	0	775	775	1	0	0	0
8	24	0	775	775	1	0	0	0
9	27	0	775	775	1	0	0	0
10	30	4	775	771	0,994839	0,005161	0,0017204	2,35675E-06
11	33	1	775	774	0,99871	0,00129	0,0004301	5,89188E-07
12	36	0	775	775	1	0	0	0
13	39	11	775	764	0,985806	0,014194	0,0047312	6,48107E-06
14	42	4	775	771	0,994839	0,005161	0,0017204	2,35675E-06
15	45	0	775	775	1	0	0	0
16	48	0	775	775	1	0	0	0
17	51	0	775	775	1	0	0	0
18	54	0	775	775	1	0	0	0
20	60	0	775	775	1	0	0	0
21	63	0	775	775	1	0	0	0
22	66	0	775	775	1	0	0	0
23	69	0	775	775	1	0	0	0
24	72	0	775	775	1	0	0	0
25	75	1	775	774	0,99871	0,00129	0,0004301	5,89188E-07
26	78	1	775	774	0,99871	0,00129	0,0004301	5,89188E-07
27	81	0	775	775	1	0	0	0
28	84	0	775	775	1	0	0	0

TABELA 12: UJE – Edifício da Estação de Válvulas dos Sistemas de Água de Alimentação e de Vapor Principal

<b>i</b> no.de intervalo s de 90 dias	<b>t<sub>i</sub></b> intervalo s de observaç ão (meses)	No. de falhas de Detectore s no intervalo	Total de detectore s	<b>n<sub>i</sub></b> (sobreviv entes) = total - falhas	<b>R(t<sub>i</sub>)</b> = n <sub>i</sub> /N	<b>F</b> =1-R(t <sub>i</sub> )	<b>λ(t<sub>i</sub>)</b> =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> -t <sub>i</sub> ) N (ao mês)	<b>λ(t<sub>i</sub>)</b> =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> -t <sub>i</sub> ) N (por hora)
0	0	0	9	9	1	0	0	0
1	3	0	9	9	1	0	0	0
2	6	0	9	9	1	0	0	0
3	9	0	9	9	1	0	0	0
4	12	0	9	9	1	0	0	0
5	15	0	9	9	1	0	0	0
6	18	0	9	9	1	0	0	0
7	21	0	9	9	1	0	0	0
8	24	0	9	9	1	0	0	0
9	27	0	9	9	1	0	0	0
10	30	0	9	9	1	0	0	0
11	33	0	9	9	1	0	0	0
12	36	0	9	9	1	0	0	0
13	39	0	9	9	1	0	0	0
14	42	1	9	8	0,888889	0,111111	0,037037	5,07357E-05
15	45	0	9	9	1	0	0	0
16	48	0	9	9	1	0	0	0
17	51	0	9	9	1	0	0	0
18	54	0	9	9	1	0	0	0
20	60	0	9	9	1	0	0	0
21	63	0	9	9	1	0	0	0
22	66	0	9	9	1	0	0	0
23	69	0	9	9	1	0	0	0
24	72	0	9	9	1	0	0	0
25	75	0	9	9	1	0	0	0
26	78	0	9	9	1	0	0	0
27	81	0	9	9	1	0	0	0
28	84	0	9	9	1	0	0	0

TABELA13: UJB – Anulus do Edifício do Reator

<b>i</b> no.de intervalo s de 90 dias	<b>t<sub>i</sub></b> intervalos de observação (meses)	No. de falhas de Detectores no intervalo	Total de detectores	<b>n<sub>i</sub></b> (sobreviven tes) = total falhas	<b>R(t<sub>i</sub>)</b> = n <sub>i</sub> /N	<b>F</b> =1-R(t <sub>i</sub> )	<b>λ(t<sub>i</sub>)</b> =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> -t <sub>i</sub> ) N (ao mês)	<b>λ(t<sub>i</sub>)</b> =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> - t <sub>i</sub> ) N (por hora)
0	0	0	266	266	1	0	0	0
1	3	0	266	266	1	0	0	0
2	6	0	266	266	1	0	0	0
3	9	0	266	266	1	0	0	0
4	12	0	266	266	1	0	0	0
5	15	0	266	266	1	0	0	0
6	18	0	266	266	1	0	0	0
7	21	0	266	266	1	0	0	0
8	24	0	266	266	1	0	0	0
9	27	0	266	266	1	0	0	0
10	30	4	266	262	0,985	0,01504	0,0050125	6,8665E-06
11	33	4	266	262	0,985	0,01504	0,0050125	6,8665E-06
12	36	4	266	262	0,985	0,01504	0,0050125	6,8665E-06
13	39	0	266	266	1	0	0	0
14	42	1	266	265	0,9962	0,00376	0,0012531	1,7166E-06
15	45	0	266	266	1	0	0	0
16	48	0	266	266	1	0	0	0
17	51	0	266	266	1	0	0	0
18	54	0	266	266	1	0	0	0
19	57	0	266	266	1	0	0	0
20	60	0	266	266	1	0	0	0
21	63	0	266	266	1	0	0	0
22	66	0	266	266	1	0	0	0
23	69	0	266	266	1	0	0	0
24	72	0	266	266	1	0	0	0
25	75	0	266	266	1	0	0	0
26	78	0	266	266	1	0	0	0
27	81	0	266	266	1	0	0	0
28	84	0	266	266	1	0	0	0

TABELA 14: UKA - Edifício Auxiliar do Reator

$i$ no.de intervalo s de 90 dias	$t_i$ intervalo s de observa ção (meses)	No. de falhas de Detector es no intervalo	Total de detector es	$n_i$ (sobreviv entes) = total - falhas	$R(t_i)$ = $n_i/N$	$F$ = $1-R(t_i)$	$\lambda(t_i)$ = $(N-n_i)/(t_{i+1}-t_i) N$ (ao mês)	$\lambda(t_i)$ = $(N-n_i)/(t_{i+1}-t_i) N$ (por hora)
0	0	0	79	79	1	0	0	0
1	3	0	79	79	1	0	0	0
2	6	0	79	79	1	0	0	0
3	9	0	79	79	1	0	0	0
4	12	0	79	79	1	0	0	0
5	15	0	79	79	1	0	0	0
6	18	0	79	79	1	0	0	0
7	21	1	79	78	0,987342	0,012658	0,004219	5,78001E-06
8	24	1	79	78	0,987342	0,012658	0,004219	5,78001E-06
9	27	0	79	79	1	0	0	0
10	30	8	79	71	0,898734	0,101266	0,033755	4,62401E-05
11	33	0	79	79	1	0	0	0
12	36	0	79	79	1	0	0	0
13	39	8	79	71	0,898734	0,101266	0,033755	4,62401E-05
14	42	7	79	72	0,911392	0,088608	0,029536	4,04601E-05
15	45	0	79	79	1	0	0	0
16	48	3	79	76	0,962025	0,037975	0,012658	1,734E-05
17	51	11	79	68	0,860759	0,139241	0,046414	6,35801E-05
18	54	2	79	77	0,974684	0,025316	0,004219	5,78001E-06
20	60	13	79	66	0,835443	0,164557	0,054852	7,51402E-05
21	63	1	79	78	0,987342	0,012658	0,004219	5,78001E-06
22	66	1	79	78	0,987342	0,012658	0,004219	5,78001E-06
23	69	0	79	79	1	0	0	0
24	72	1	79	78	0,987342	0,012658	0,004219	5,78001E-06
25	75	0	79	79	1	0	0	0
26	78	1	79	78	0,987342	0,012658	0,004219	5,78001E-06
27	81	0	79	79	1	0	0	0
28	84	0	79	79	1	0	0	0

TABELA 15: UKH – Estrutura da Chaminé de Descargas de Gases

<b>i</b> no.de intervalo s de 90 dias	<b>t<sub>i</sub></b> intervalo s de observa ção (meses)	No. de falhas de Detector es no intervalo	Total de detector es	<b>n<sub>i</sub></b> (sobreviv entes) = total - falhas	<b>R(t<sub>i</sub>)</b> = n <sub>i</sub> /N	<b>F</b> =1-R(t <sub>i</sub> )	<b>λ(t<sub>i</sub>)</b> =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> - t <sub>i</sub> ) N (ao mês)	<b>λ(t<sub>i</sub>)</b> =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> - t <sub>i</sub> ) N (por hora)
0	0	0	10	10	1	0	0	0
1	3	0	10	10	1	0	0	0
2	6	0	10	10	1	0	0	0
3	9	0	10	10	1	0	0	0
4	12	0	10	10	1	0	0	0
5	15	0	10	10	1	0	0	0
6	18	0	10	10	1	0	0	0
7	21	1	10	9	0,9	0,1	0,033333	4,56621E-05
8	24	0	10	10	1	0	0	0
9	27	0	10	10	1	0	0	0
10	30	0	10	10	1	0	0	0
11	33	0	10	10	1	0	0	0
12	36	0	10	10	1	0	0	0
13	39	0	10	10	1	0	0	0
14	42	0	10	10	1	0	0	0
15	45	0	10	10	1	0	0	0
16	48	0	10	10	1	0	0	0
17	51	0	10	10	1	0	0	0
18	54	0	10	10	1	0	0	0
20	60	0	10	10	1	0	0	0
21	63	0	10	10	1	0	0	0
22	66	0	10	10	1	0	0	0
23	69	0	10	10	1	0	0	0
24	72	0	10	10	1	0	0	0
25	75	0	10	10	1	0	0	0
26	78	0	10	10	1	0	0	0
27	81	1	10	9	0,9	0,1	0,033333	4,56621E-05
28	84	0	10	10	1	0	0	0

TABELA 16 : ULB - Edifício de Água de Alimentação e Suprimento de Potência de Emergência

<b>i</b> no.de intervalos de 90 dias	<b>t<sub>i</sub></b> intervalos de observação (meses)	No. de falhas de Detectores no intervalo	Total de detectores	<b>n<sub>i</sub></b> (sobreviventes) = total - falhas	<b>R(t<sub>i</sub>)</b> = n <sub>i</sub> /N	<b>F</b> =1-R(t <sub>i</sub> )	<b>λ(t<sub>i</sub>)</b> =(N-n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> -t <sub>i</sub> ) N (ao mês)	<b>λ(t<sub>i</sub>)</b> =(N-n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> -t <sub>i</sub> ) N (por hora)
0	0	0	325	325	1	0	0	0
1	3	0	325	325	1	0	0	0
2	6	0	325	325	1	0	0	0
3	9	0	325	325	1	0	0	0
4	12	0	325	325	1	0	0	0
5	15	0	325	325	1	0	0	0
6	18	0	325	325	1	0	0	0
7	21	0	325	325	1	0	0	0
8	24	0	325	325	1	0	0	0
9	27	0	325	325	1	0	0	0
10	30	1	325	324	0,9969	0,003077	0,001	1,40499E-06
11	33	0	325	325	1	0	0	0
12	36	1	325	324	0,9969	0,003077	0,001	1,40499E-06
13	39	0	325	325	1	0	0	0
14	42	1	325	324	0,9969	0,003077	0,001	1,40499E-06
15	45	0	325	325	1	0	0	0
16	48	1	325	324	0,9969	0,003077	0,001	1,40499E-06
17	51	0	325	325	1	0	0	0
18	54	0	325	325	1	0	0	0
19	57	0	325	325	1	0	0	0
20	60	1	325	324	0,9969	0,003077	0,001	1,40499E-06
21	63	0	325	325	1	0	0	0
22	66	0	325	325	1	0	0	0
23	69	0	325	325	1	0	0	0
24	72	2	325	323	0,9938	0,006154	0,0021	2,80998E-06
25	75	3	325	322	0,9908	0,009231	0,0031	4,21496E-06
26	78	0	325	325	1	0	0	0
27	81	2	325	323	0,9938	0,006154	0,0021	2,80998E-06
28	84	0	325	325	1	0	0	0

TABELA 17: ULD – Edifício do Laboratório Químico Frio  
e Bombas de Água Desmineralizada

<b>i</b> no.de intervalo s de 90 dias	<b>t<sub>i</sub></b> intervalo s de observaç ão (meses)	No. de falhas de Detector es no intervalo	Total de detector es	<b>n<sub>i</sub></b> (sobreviv entes) = total - falhas	<b>R(t<sub>i</sub>)</b> = n <sub>i</sub> /N	<b>F</b> =1-R(t <sub>i</sub> )	<b>λ(t<sub>i</sub>)</b> =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> - t <sub>i</sub> ) N (ao mês)	<b>λ(t<sub>i</sub>)</b> =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> -t <sub>i</sub> ) (por hora)
0	0	0	38	38	1	0	0	0
1	3	0	38	38	1	0	0	0
2	6	0	38	38	1	0	0	0
3	9	0	38	38	1	0	0	0
4	12	0	38	38	1	0	0	0
5	15	0	38	38	1	0	0	0
6	18	0	38	38	1	0	0	0
7	21	1	38	37	0,973684	0,026316	0,008772	1,20163E-05
8	24	1	38	37	0,973684	0,026316	0,008772	1,20163E-05
9	27	0	38	38	1	0	0	0
10	30	8	38	30	0,789474	0,210526	0,070175	9,61307E-05
11	33	0	38	38	1	0	0	0
12	36	0	38	38	1	0	0	0
13	39	8	38	30	0,789474	0,210526	0,070175	9,61307E-05
14	42	7	38	31	0,815789	0,184211	0,061404	8,41144E-05
15	45	0	38	38	1	0	0	0
16	48	3	38	35	0,921053	0,078947	0,026316	3,6049E-05
17	51	11	38	27	0,710526	0,289474	0,096491	0,00013218
18	54	2	38	36	0,947368	0,052632	0,017544	2,40327E-05
19	57	1	38	37	0,973684	0,026316	0,008772	1,20163E-05
20	60	12	38	26	0,684211	0,315789	0,105263	0,000144196
21	63	1	38	37	0,973684	0,026316	0,008772	1,20163E-05
22	66	1	38	37	0,973684	0,026316	0,008772	1,20163E-05
23	69	0	38	38	1	0	0	0
24	72	1	38	37	0,973684	0,026316	0,008772	1,20163E-05
25	75	0	38	38	1	0	0	0
26	78	1	38	37	0,973684	0,026316	0,008772	1,20163E-05
27	81	0	38	38	1	0	0	0
28	84	0	38	38	1	0	0	0

TABELA 18 : UMA – Edifício da Turbina

$i$ no.de intervalo s de 90 dias	$t_i$ intervalo s de observaç ão (meses)	No. de falhas de Detectore s no intervalo	Total de detectore s	$n_i$ (sobreviv entes) = total - falhas	$R(t_i)$ = $n_i/N$	$F$ = $1-R(t_i)$	$\lambda(t_i)$ = $(N-n_i)/(t_{i+1}-t_i)$ N (ao mês)	$\lambda(t_i)$ = $(N-n_i)/(t_{i+1}-t_i)$ N (por hora)
0	0	1	268	267	0,996269	0,003731	0,001244	1,70381E-06
1	3	1	268	267	0,996269	0,003731	0,001244	1,70381E-06
2	6	0	268	268	1	0	0	0
3	9	1	268	267	0,996269	0,003731	0,001244	1,70381E-06
4	12	0	268	268	1	0	0	0
5	15	0	268	268	1	0	0	0
6	18	0	268	268	1	0	0	0
7	21	0	268	268	1	0	0	0
8	24	2	268	266	0,992537	0,007463	0,002488	3,40762E-06
9	27	1	268	267	0,996269	0,003731	0,001244	1,70381E-06
10	30	1	268	267	0,996269	0,003731	0,001244	1,70381E-06
11	33	0	268	268	1	0	0	0
12	36	1	268	267	0,996269	0,003731	0,001244	1,70381E-06
13	39	4	268	264	0,985075	0,014925	0,004975	6,81524E-06
14	42	5	268	263	0,981343	0,018657	0,006219	8,51905E-06
15	45	0	268	268	1	0	0	0
16	48	1	268	267	0,996269	0,003731	0,001244	1,70381E-06
17	51	1	268	267	0,996269	0,003731	0,001244	1,70381E-06
18	54	7	268	261	0,973881	0,026119	0,008706	1,19267E-05
19	57	3	268	265	0,988806	0,011194	0,003731	5,11143E-06
20	60	1	268	267	0,996269	0,003731	0,001244	1,70381E-06
21	63	4	268	264	0,985075	0,014925	0,004975	6,81524E-06
22	66	4	268	264	0,985075	0,014925	0,004975	6,81524E-06
23	69	1	268	267	0,996269	0,003731	0,001244	1,70381E-06
24	72	6	268	262	0,977612	0,022388	0,007463	1,02229E-05
25	75	2	268	266	0,992537	0,007463	0,002488	3,40762E-06
26	78	8	268	260	0,970149	0,029851	0,00995	1,36305E-05
27	81	7	268	261	0,973881	0,026119	0,008706	1,19267E-05
28	84	5	268	263	0,981343	0,018657	0,006219	8,51905E-06

TABELA 19 : UPC – Estrutura de tomada D'Água

<b>i</b> no.de intervalo s de 90 dias	<b>t<sub>i</sub></b> intervalo s de observaç ão (meses)	No. de falhas de Detector es no intervalo	Total de detectore s	<b>n<sub>i</sub></b> (sobreviv entes) = total - falhas	<b>R(t<sub>i</sub>)</b> = n <sub>i</sub> /N	<b>F</b> =1-R(t <sub>i</sub> )	<b>λ(t<sub>i</sub>)</b> =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> - t <sub>i</sub> ) N (ao mês)	<b>λ(t<sub>i</sub>)</b> =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> -t <sub>i</sub> ) N (por hora)
0	0	0	48	48	1	0	0	0
1	3	0	48	48	1	0	0	0
2	6	0	48	48	1	0	0	0
3	9	0	48	48	1	0	0	0
4	12	0	48	48	1	0	0	0
5	15	0	48	48	1	0	0	0
6	18	0	48	48	1	0	0	0
7	21	0	48	48	1	0	0	0
8	24	0	48	48	1	0	0	0
9	27	0	48	48	1	0	0	0
10	30	0	48	48	1	0	0	0
11	33	0	48	48	1	0	0	0
12	36	0	48	48	1	0	0	0
13	39	0	48	48	1	0	0	0
14	42	0	48	48	1	0	0	0
15	45	0	48	48	1	0	0	0
16	48	0	48	48	1	0	0	0
17	51	1	48	47	0,979167	0,020833	0,006944	9,513E-06
18	54	0	48	48	1	0	0	0
20	60	1	48	47	0,979167	0,020833	0,006944	9,513E-06
21	63	0	48	48	1	0	0	0
22	66	0	48	48	1	0	0	0
23	69	0	48	48	1	0	0	0
24	72	0	48	48	1	0	0	0
25	75	0	48	48	1	0	0	0
26	78	0	48	48	1	0	0	0
27	81	0	48	48	1	0	0	0
28	84	0	48	48	1	0	0	0

TABELA 20 : UPQ – Edifício do Sistema de Biocida

i no.de intervalos de 90 dias	t <sub>i</sub> intervalos de observação (meses)	No. de falhas de Detectores no intervalo	Total de detectores	n <sub>i</sub> (sobrevive ntes) = total - falhas	R(t <sub>i</sub> ) = n <sub>i</sub> /N	F =1-R(t <sub>i</sub> )	$\lambda(t_i) = (N - n_i)/(t_{i+1} - t_i) N$ (por hora)
0	0	0	22	22	1	0	0
1	3	0	22	22	1	0	0
2	6	0	22	22	1	0	0
3	9	0	22	22	1	0	0
4	12	0	22	22	1	0	0
5	15	0	22	22	1	0	0
6	18	0	22	22	1	0	0
7	21	0	22	22	1	0	0
8	24	0	22	22	1	0	0
9	27	0	22	22	1	0	0
10	30	0	22	22	1	0	0
11	33	0	22	22	1	0	0
12	36	0	22	22	1	0	0
13	39	1	22	21	0,95455	0,0455	2,07555E-05
14	42	2	22	20	0,90909	0,0909	4,1511E-05
15	45	0	22	22	1	0	0
16	48	0	22	22	1	0	0
17	51	0	22	22	1	0	0
18	54	3	22	19	0,86364	0,1364	3,11333E-05
20	60	0	22	22	1	0	0
21	63	0	22	22	1	0	0
22	66	1	22	21	0,95455	0,0455	2,07555E-05
23	69	0	22	22	1	0	0
24	72	1	22	21	0,95455	0,0455	2,07555E-05
25	75	0	22	22	1	0	0
26	78	0	22	22	1	0	0
27	81	2	22	20	0,90909	0,0909	4,1511E-05
28	84	2	22	20	0,90909	0,0909	4,1511E-05

TABELA 21 : UST – Edifício de Oficinas de Manutenção

i no.de intervalos de 90 dias	t <sub>i</sub> intervalos de observação (meses)	No. de falhas de Detectores no intervalo	Total de detectores	n <sub>i</sub> (sobreviventes) = total - falhas	R(t <sub>i</sub> ) = n <sub>i</sub> /N	F =1-R(t <sub>i</sub> )	λ(t <sub>i</sub> ) =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> -t <sub>i</sub> ) N (por hora)
0	0	0	57	57	1	0	0
1	3	0	57	57	1	0	0
2	6	0	57	57	1	0	0
3	9	0	57	57	1	0	0
4	12	0	57	57	1	0	0
5	15	0	57	57	1	0	0
6	18	0	57	57	1	0	0
7	21	1	57	56	0,982456	0,017544	8,01089E-06
8	24	1	57	56	0,982456	0,017544	8,01089E-06
9	27	1	57	56	0,982456	0,017544	8,01089E-06
10	30	3	57	54	0,947368	0,052632	2,40327E-05
11	33	0	57	57	1	0	0
12	36	3	57	54	0,947368	0,052632	2,40327E-05
13	39	3	57	54	0,947368	0,052632	2,40327E-05
14	42	2	57	55	0,964912	0,035088	1,60218E-05
15	45	0	57	57	1	0	0
16	48	3	57	54	0,947368	0,052632	2,40327E-05
17	51	1	57	56	0,982456	0,017544	8,01089E-06
18	54	0	57	57	1	0	0
19	57	0	57	57	1	0	0
20	60	2	57	55	0,964912	0,035088	1,60218E-05
21	63	0	57	57	1	0	0
22	66	1	57	56	0,982456	0,017544	8,01089E-06
23	69	0	57	57	1	0	0
24	72	0	57	57	1	0	0
25	75	2	57	55	0,964912	0,035088	1,60218E-05
26	78	1	57	56	0,982456	0,017544	8,01089E-06
27	81	1	57	56	0,982456	0,017544	8,01089E-06
28	84	1	57	56	0,982456	0,017544	8,01089E-06

TABELA 22 : USU e 5USU – Depósitos de Lubrificantes

i no.de intervalo s de 90 dias	t <sub>i</sub> intervalo s de observaç ão (meses)	No. de falhas de Detector es no intervalo	Total de detectore s	n <sub>i</sub> (sobreviv entes) = total - falhas	R(t <sub>i</sub> ) = n <sub>i</sub> /N	F =1-R(t <sub>i</sub> )	λ(t <sub>i</sub> ) =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> -t <sub>i</sub> ) N (por hora)
0	0	0	10	10	1	0	0
1	3	0	10	10	1	0	0
2	6	0	10	10	1	0	0
3	9	0	10	10	1	0	0
4	12	0	10	10	1	0	0
5	15	0	10	10	1	0	0
6	18	0	10	10	1	0	0
7	21	0	10	10	1	0	0
8	24	1	10	9	0,9	0,1	4,56621E-05
9	27	1	10	9	0,9	0,1	4,56621E-05
10	30	1	10	9	0,9	0,1	4,56621E-05
11	33	0	10	10	1	0	0
12	36	0	10	10	1	0	0
13	39	0	10	10	1	0	0
14	42	0	10	10	1	0	0
15	45	0	10	10	1	0	0
16	48	0	10	10	1	0	0
17	51	0	10	10	1	0	0
18	54	2	10	8	0,8	0,2	4,56621E-05
19	57	0	10	10	1	0	0
20	60	1	10	9	0,9	0,1	4,56621E-05
21	63	1	10	9	0,9	0,1	4,56621E-05
22	66	1	10	9	0,9	0,1	4,56621E-05
23	69	0	10	10	1	0	0
24	72	2	10	8	0,8	0,2	9,13242E-05
25	75	5	10	5	0,5	0,5	0,000228311
26	78	1	10	9	0,9	0,1	4,56621E-05
27	81	1	10	9	0,9	0,1	4,56621E-05
28	84	1	10	9	0,9	0,1	1,63079E-06

TABELA 23 : UTA – Edifício da Caldeira

i no.de intervalos de 90 dias	t <sub>i</sub> intervalos de observaçã o (meses)	No. de falhas de Detectore s no intervalo	Total de detectore s	n <sub>i</sub> (sobrevive ntes) = total - falhas	R(t <sub>i</sub> ) = ni/N	F =1- R(ti)	H(t <sub>i</sub> ) = ln(N) - ln(n <sub>i</sub> )	λ(t <sub>i</sub> ) =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> -t <sub>i</sub> ) N (ao mês)	λ(t <sub>i</sub> ) =(N- n <sub>i</sub> )/(t <sub>i+1</sub> -t <sub>i</sub> ) N (por hora)
0	0	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
1	3	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
2	6	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
3	9	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
4	12	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
5	15	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
6	18	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
7	21	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
8	24	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
9	27	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
10	30	7	16	9	0,5625	0,4375	0,57536	0,145833	0,0002
11	33	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
12	36	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
13	39	1	16	15	0,9375	0,0625	0,06454	0,020833	2,85E-05
14	42	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
15	45	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
16	48	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
17	51	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
18	54	2	16	14	0,875	0,125	0,13353	0,020833	2,85E-05
20	60	2	16	14	0,875	0,125	0,13353	0,041667	5,71E-05
21	63	2	16	14	0,875	0,125	0,13353	0,041667	5,71E-05
22	66	3	16	13	0,8125	0,1875	0,20764	0,0625	8,56E-05
23	69	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
24	72	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
25	75	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
26	78	1	16	15	0,9375	0,0625	0,06454	0,020833	2,85E-05
27	81	0	16	16	1	0	0,00000	0	0
28	84	2	16	14	0,875	0,125	0,13353	0,041667	5,71E-05

TABELA 24 : UYA – Edifício dos Escritórios e Administração

$i$ no.de intervalo s de 90 dias	$t_i$ intervalo s de observaç ão (meses)	No. de falhas de Detector es no intervalo	Total de detectore s	$n_i$ (sobreviv entes) = total - falhas	$R(t_i)$ = $n_i/N$	$F$ = $1-R(t_i)$	$\lambda(t_i)$ = $(N-n_i)/(t_{i+1} - t_i) N$ (ao mês)	$\lambda(t_i)$ = $(N-n_i)/(t_{i+1} - t_i) N$ (por hora)
0	0	0	79	79	1	0	0	0
1	3	0	79	79	1	0	0	0
2	6	0	79	79	1	0	0	0
3	9	0	79	79	1	0	0	0
4	12	0	79	79	1	0	0	0
5	15	0	79	79	1	0	0	0
6	18	0	79	79	1	0	0	0
7	21	0	79	79	1	0	0	0
8	24	0	79	79	1	0	0	0
9	27	1	79	78	0,987342	0,012658	0,004219	5,78001E-06
10	30	0	79	79	1	0	0	0
11	33	0	79	79	1	0	0	0
12	36	0	79	79	1	0	0	0
13	39	3	79	76	0,962025	0,037975	0,012658	1,734E-05
14	42	4	79	75	0,949367	0,050633	0,016878	2,31201E-05
15	45	0	79	79	1	0	0	0
16	48	0	79	79	1	0	0	0
17	51	0	79	79	1	0	0	0
18	54	0	79	79	1	0	0	0
20	60	0	79	79	1	0	0	0
21	63	0	79	79	1	0	0	0
22	66	1	79	78	0,987342	0,012658	0,004219	5,78001E-06
23	69	0	79	79	1	0	0	0
24	72	0	79	79	1	0	0	0
25	75	0	79	79	1	0	0	0
26	78	0	79	79	1	0	0	0
27	81	1	79	78	0,987342	0,012658	0,004219	5,78001E-06
28	84	0	79	79	1	0	0	0

## REFERÊNCIAS

Norma DIN 19235, 1975, *Control Engineering Signalling of Operating Condition*, N.York

NBR 9441, 1998, *Execução de Sistemas de Detecção E Alarme De Incêndio*, Rio de Janeiro

EE LEWIS, 1994, *Introduction To Reliability Engineering* , 2 ed., New York, John Wiley & Sons Inc.

ELETRONUCLEAR, 2001, System Description, Fire Alarm System - CYE, 2001, Apostila.

FULLWOOD, RALPH R,1998, *Probabilistic Safety Assessment In The Chemical And Nuclear Industries*, Upton, NY,

SEIXAS/QUALTEC, 2007, “*Tabela 1 - Taxa de Falha de Equipamentos*”, in: Taxa de falha e modos de falha , in: Relatório da Qualtec Engenharia de Confiabilidade, pp.1-3, Rio de Janeiro, RJ.

RELIASOFT, 2007, Pesquisado na internet no sítio [www.reliasoft.com.br](http://www.reliasoft.com.br).

MOERMAN; E.M.M., 1989, “Sistemas de Equipamentos de Detecção e Alarme de Incêndio”, *Revista de Controle e Instrumentação*, julho, pp. 26-29.

Sítios da internet:

Referência de tipos e modos de funcionamento de detectores :[www.howstuffworks.com](http://www.howstuffworks.com)

Pesquisas de normas e padrões da área de incêndio :[www.nfpa.org](http://www.nfpa.org)