

MODELAGEM PARA AVALIAÇÃO DE FALHAS EM MÁQUINAS INDUSTRIAIS

Jorge A. SOSA CARDOZA (1); Marcelo A. DE OLIVEIRA (2)

(1) *Centro Federal de Educação Tecnológica do Amazonas – Unidade de Ensino Descentralizada de Manaus – CEFET-AM-UNED-MANAUS. Av. Governador Danilo Areosa, s/n, Laboratório MPCE. CEP: 69075-351. Manaus, Amazonas - Brasil. Telefone: (92) 36133531 - jcardozo@cefetam.edu.br*

(2) *Universidade Federal do Amazonas - UFAM Instituição - marcelo.a.oliveira@nokia.com*

RESUMO

Este estudo referencia as causas que levam as interrupções do processo produtivo em uma máquina de embalagem, apresentando os aspectos básicos para sua análise utilizando o método da Confiabilidade, de maneira a avaliar o comportamento, a evolução temporal de falhas dos componentes e sistemas do equipamento. As máquinas são atualmente sistemas altamente automatizados e complexos, tornando necessário o domínio de métodos eficientes para análise de falhas. A pesquisa é um estudo de caso e os dados foram coletados em uma linha de manufatura de produtos de higiene pessoal em uma empresa do gênero, no Parque Industrial de Manaus – PIM, um dos mais expressivos do Brasil e da América Latina. O equipamento foi dividido em subsistemas, de modo a permitir a coleta e investigação das diferentes causas de paradas destes subsistemas e associá-los a seus respectivos modos de falha. Com base nas falhas coletadas no período de observação, foram determinadas as taxas de falhas de cada subsistema, as estimativas para a densidade probabilística de falhas e da confiabilidade de cada um destes. Os resultados da pesquisa mostraram que existem subsistemas com boas oportunidades de melhoria de desempenho, em um grau maior ou menor de complexidade.

Palavras-chave: Políticas de manutenção; Análises de falhas; Manutenção preventiva; Confiabilidade de sistemas; Estatística industrial.

1. INTRODUÇÃO

A definição de parâmetros em processos produtivos sejam eles relativos a equipamentos sejam relativos às etapas de produção, usualmente levam em consideração as características que o produto possui. Sendo assim, podemos citar velocidade de resposta, forma, que tipo de rastreabilidade é possível, tempo de ciclo, dentre outros, como abordado por Cardoso (2006).

A validação de um equipamento para determinado processo necessariamente deve passar por critérios de avaliação relativamente rigorosa, como citado por Cardoso (2000), podendo ser bem mais criteriosa dependendo da complexidade e dos riscos que este processo possui, de maneira que as falhas ocorridas possam ser detectáveis e que permita sua correta solução.

Com este trabalho propõe-se a avaliação de um equipamento de embalagem e seu sistema de detecção, auxiliado por sensores, abordando os aspectos de confiabilidade deste sistema e a solução do problema de detecção de produtos críticos quando o equipamento está sendo solicitado em condições operacionais não previstas ou não testado de forma adequada.

2. AS FALHAS NO PROCESSO

O funcionamento básico do equipamento seria de embalar determinado produto e detectar, por meio de sensores, a presença ou a ausência destes, enviando ao sistema de controle um sinal para que a parte considerada ruim fosse rejeitada e as demais etapas do processo fossem eliminadas. Quando de rejeições consecutivas paradas do equipamento ocorreriam. Na figura 2.1 podemos visualizar as etapas de funcionamento do equipamento.

A partir daí, uma série de etapas secundárias e dependentes umas das outras transcorriam. Isso significa dizer que uma falsa falha no sistema induziria os demais itens a falharem ou operarem em condições não recomendadas, sendo que a somatória destas falhas elevaria o custo final das perdas no processo.

Por outro lado, a correta definição dos parâmetros de processo, sua forma de avaliação e ajustes de dispositivos também contribuiriam decisivamente nesta etapa. Na figura 2.2 temos uma avaliação dos aspectos principais que poderiam afetar a qualidade e a produtividade do equipamento, desde o método adotado no processo produtivo, a mão-de-obra envolvida, o material utilizado e o sistema de detecção do equipamento.

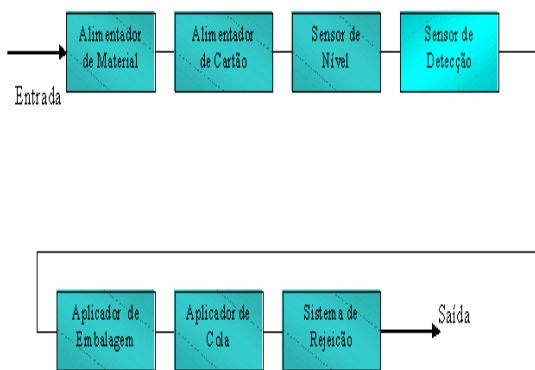


Figura 2.1 - Diagrama de Blocos da Máquina de Embalagem

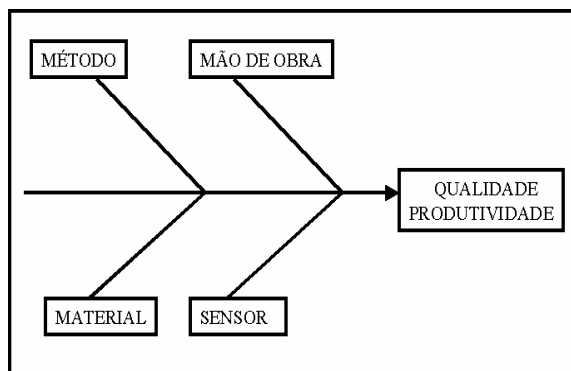


Figura 2.2 - Avaliação do Processo de Embalagem

No modelo original tinha-se um alto tempo de configuração (setup) do equipamento quando da conversão para os modelos a serem produzidos, que era agravado por suas características geométricas e de cor. Isso significa dizer que para cada modelo e cor diferente a ser produzido, uma nova configuração era necessária.

Pela dinâmica de produção isso poderia representar uma parcela significativa do tempo útil para produzir, podendo-se constituir em um gargalo. A figura 2.3 ilustra os tempos médios necessários quando da troca de modelos a serem produzidos.

Além destas observações constatou-se que o volume de produção era bastante afetado quando a combinação de produto, velocidade de operação do equipamento e ajuste dos dispositivos de detecção não alcançavam o resultado esperado. Ignorar este fato, além de gerar custos no processo produtivo, poderia implicar em problemas futuros no que tange à qualidade do produto junto ao consumidor.

Em outras palavras, o processo de detecção não conseguia distinguir a falta de produtos para determinadas cores, caracterizando sua falha. De certa forma o sistema era totalmente comprometido quando se considerava que as cores mais críticas eram as que mais contribuíam para o volume de produção. Isso significa dizer que estes produtos tinham mais saída para o mercado consumidor.

Uma alternativa a esta situação seria de adaptar o sistema para velocidades menores, o que permitiria menor oscilação e a possível detecção do material para as cores críticas, afetando assim o volume de produção e o comprometimento dos prazos. Além disso, esta medida contrariava as especificações iniciais deste processo e a qualificação do equipamento para este fim.

Devido aos altos tempos de configuração perda de material, problemas de qualidade e reclamações de consumidor, adotou-se uma estratégia de inibir a detecção dos sensores para as cores considerada críticas no processo.

Na figura 2.4 temos uma avaliação mais detalhada dos aspectos que poderiam afetar o sistema.

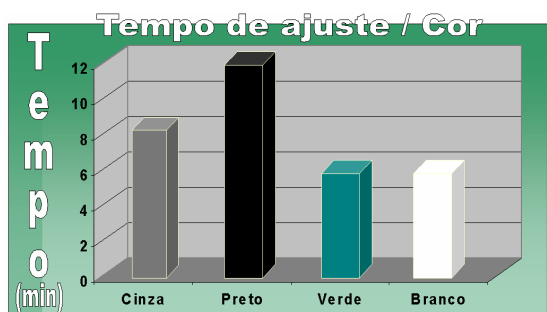


Figura 2.3 - Tempo de Configuração

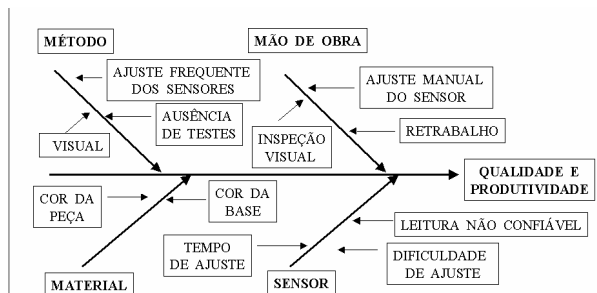


Figura 2.4 - Análise do Processo de Detecção

Agregou-se aí mais uma variável, onde o deslocamento de mão-de-obra passou a fazer a função do sistema de detecção, inspecionando o produto em sua totalidade. Obviamente que esta variável, ao contrário do que se poderia pensar, agravaria ainda mais o problema apresentado devido a sua ineficiência a médio e longo prazo, pois a fadiga e outros aspectos ambientais afetariam consideravelmente o seu desempenho. Do ponto de vista de custos com excesso de paradas e o comprometimento do volume final de produção, esta medida surtiu relevante efeito positivo. Mas esse não era o foco principal do problema, tendo este sido resolvido apenas de forma paliativa e que mais adiante seus efeitos continuariam a ser sentidos.

2.1 Modelo Proposto

A partir de um estudo de confiabilidade deste sistema pretende-se detectar quais etapas do processo poderiam ser melhor monitoradas, abordados também por Piazza (2000) e Souza (2002), e, por assim dizer, qual seria a melhor estratégia de prevenção de falhas e definir critérios para a otimização do desempenho final do equipamento.

Isso obrigaria que pesquisas para a solução deste problema fossem realizadas, conciliando custos de implementação com resultados satisfatórios, ou seja, encontrar uma forma de detecção eficiente e que não exigisse alto tempo de configuração (setup) na conversão dos modelos produzidos ou, ao menos, a eliminação do problema apresentado. O excesso de intervenções no processo para ajustes do sistema de detecção possibilita-nos dizer que o sistema, tal qual fora concebido, é estável e funcional, mas isto não acontecia devido à forma como estava sendo empregado, tornando-o pouco confiável. Além disso, a vida útil dos dispositivos tenderia a diminuir o que exigiria ainda mais intervenções.

Como etapa inicial deste trabalho, será realizado um levantamento das falhas ocorridas no processo de

embalagem, avaliá-las e estimar os índices de confiabilidade para o equipamento e seus subsistemas. Esta coleta de dados será realizada mediante acompanhamento e registro em planilhas de controle de produção de todas as paradas no processo produtivo, sejam por motivos técnicos sejam por motivos administrativos, determinados modos de falhas, tendo por prioridade aquele que for considerado como mais crítico.

Ao final e tendo-se escolhido o subsistema crítico, far-se-ia sua substituição e avaliação do sistema proposto. A seguir temos uma representação das etapas seguidas para a formulação do modelo proposto: Coleta de Dados (Falhas e Tempo); Associação das falhas com seus respectivos subsistemas; Cálculo das taxas de falhas e das estimativas de confiabilidade de cada subsistema; Escolha do subsistema crítico; Avaliação do subsistema escolhido; Pesquisa de possíveis soluções para redução e ou eliminação de falhas do subsistema avaliado; Instalação e Avaliação do modelo proposto.

3. APRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE DETECÇÃO AVALIADO

Com o intuito de resolver o problema ora apresentado optou-se pela avaliação de sistemas disponíveis e aplicáveis do ponto de vista construtivo, manutenibilidade, confiabilidade e custos. No estudo de caso realizado será mostrada a periodicidade de tempo na qual uma falha ocorria, a frequência de ajustes feitos nos dispositivos de sensoriamento e a reincidência das falhas, da mesma forma que é tratado por Droguett (200). Também será feito o mesmo procedimento para a solução final adotada e uma comparação entre as duas fases, de modo a evidenciar a confiabilidade antes e depois e sua relação com os dispositivos de sensoriamento adotados.

Com base na estrutura básica de funcionamento do equipamento, conforme visualizado na figura 3.1, será mostrado um levantamento de falhas do período estudado e, então, estimar a taxa de falhas dos subsistemas e estabelecer uma sistemática de solução de eventuais problemas. Notar que os subsistemas estão série, pois a falha de qualquer um de seus componentes ocasionará a falha total do processo.

Onde: - **Alimentador de material:** dispositivo que insere o material no processo; - **Alimentador de Cartão:** insere cartão para embalagem final do produto; - **Sensor de Nível:** verifica nível mínimo de material na máquina; - **Sensor de Detecção:** verificar a presença ou ausência de material; - **Aplicador de Embalagem:** insere material no cartão de embalagem; - **Aplicador de Cola:** insere cola no cartão para posterior fechamento; - **Sistema de Rejeição:** dispositivo de separação de produto não conforme.

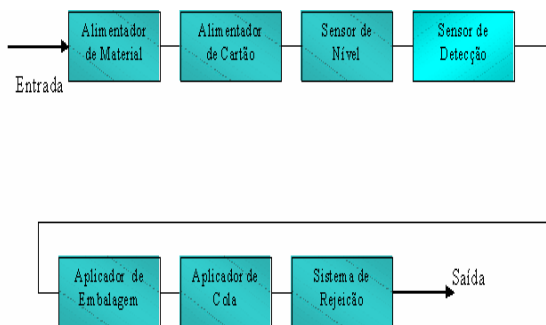


Figura 3.1 - Diagrama de Blocos da Máquina de Embalagem

3.1 Cálculo das Estimativas de Confiabilidade $\hat{R}(t)$, Função Distribuição Acumulada de Falhas $\hat{F}(t)$ e Taxa de Falhas $\hat{\lambda}(t)$.

A metodologia adotada consistiu em pesquisar os modos de falhas existentes no equipamento. Com base na quantidade de falhas e as suas respectivas peridiocidades faremos o cálculo das taxas de falhas de cada sistema. Para isso, vamos considerar o MTTR o mais próximo possível do MTBF. Baseado no tratamento por Freitas (1997) e Lafraia (2001), e em critério próprio será feita a escolha do(s) modo(s) mais crítico que está associado a um determinado subsistema e, muitas vezes, a um componente específico. Na prática, é este componente que deve ser tomado de forma preferencial para análise, reprojeto e manutenção devido aos impactos no processo produtivo.

A tabela 3.1 ilustra as falhas ocorridas na máquina de embalagem no período de tempo observado (os dias observados, a duração do período, o total de horas observadas e o tempo médio entre falhas), assim como sua frequência de ocorrências. Estes dados foram consolidados a partir das planilhas de controle de produção, onde foram levantadas todas as falhas ocorridas e associadas com seus respectivos subsistemas, assim como o tempo total de parada de máquina para cada falha ocorrida no período observado.

Tabela 3.1 - Falhas dos Subsistemas da Máquina

Falhas	Quantidade	MTBF (horas)
Cartão não pego - A	146	1,26
Dispenser fora do ninho - B	23	8,00
Falha no Dispensador #1 - C	71	2,59
Falha no Dispensador #2 - D	74	2,49
Acumulador Nível Superior - E	5	36,80
Falta de Cartucho - F	142	1,30
Sobrecarga aba lateral - G	10	18,40
Transp. Disp. - cartão não armado - H	42	4,38
Transp. Disp. - cartão mal armado - I	82	2,24
Transp. Disp. - cartão mal posicionado - J	13	14,15
Falha de Cola - K	2	92,00
Dias	23	
Período em horas	8	
Total de horas observadas	184	

Tabela 3.2 - Falhas do Subsistema A

Falha A - Cartão não pego						
Intervalo	Falhas no Intervalo (ni)	xi (ponto médio do Intervalo)	fi (frequência relativa)	^A F(ti)	^A R(ti)	^A A(ti)
0 - 9	3	4,5	0,02055	0,02055	0,97945	0,0210
9 - 18	15	13,5	0,10274	0,12333	0,87667	0,1112
18 - 27	3	22,5	0,02055	0,14388	0,85612	0,0240
27 - 36	10	31,5	0,06849	0,21233	0,78777	0,0870
36 - 45	0	40,5	0,00000	0,21233	0,78777	-
45 - 54	0	49,5	0,00000	0,21233	0,78777	-
54 - 63	0	58,5	0,00000	0,21233	0,78777	-
63 - 72	0	67,5	0,00000	0,21233	0,78777	-
72 - 81	20	76,5	0,13699	0,34933	0,65067	0,2105
81 - 90	0	85,5	0,00000	0,34933	0,65067	-
90 - 99	10	94,5	0,06849	0,41788	0,58222	0,1176
99 - 108	0	103,5	0,00000	0,41788	0,58222	-
108 - 117	20	112,5	0,13699	0,55488	0,44512	0,3071
117 - 126	0	121,5	0,00000	0,55488	0,44512	-
126 - 134	0	130	0,00000	0,55488	0,44512	-
134 - 143	22	138,5	0,15068	0,70555	0,29445	0,5116
143 - 152	0	147,5	0,00000	0,70555	0,29445	-
152 - 161	10	156,5	0,06849	0,77400	0,22600	0,3030
161 - 170	20	165,5	0,13699	0,91100	0,08900	1,5385
170 - 179	3	174,5	0,02055	0,93155	0,06845	0,3000
179 - 188	10	183,5	0,06849	1,00000	0,00000	-
Ntotal	146					

Neste primeiro momento vamos admitir que os dados não estão agrupados, onde a análise não-paramétrica será feita apenas para o subsistema escolhido como crítico. Após isso faremos uma análise agrupada para cada um dos subsistemas do equipamento.

Para compormos as tabelas não-paramétricas com os dados agrupados, dividimos o período de tempo observado em intervalos iguais e associamos a estes as falhas ocorridas naquele determinado período. A partir deste momento encontramos o ponto médio do intervalo e calculamos a frequência relativa entre cada intervalo.

Conforme demonstrado na tabela 3.2, temos o modo de falha associado ao posicionamento de cartão de embalagem no equipamento por meio de um braço pneumático.

Na tabela 3.3 temos um modo de falha associado ao sistema de transporte de material, quando este não era corretamente deslocado no interior no equipamento para a etapa de sensoriamento.

Tabela 3.3 - Falhas do Subsistema D

Falha D - Falha no Dispensador#2						
Intervalo	Falhas no Intervalo (ni)	xi (ponto médio do Intervalo)	fi (frequência relativa)	^A F(ti)	^A R(ti)	^A A(ti)
0 - 9	13	4,5	0,17568	0,17568	0,82432	0,2131
9 - 18	3	13,5	0,04054	0,21622	0,78378	0,0517
18 - 27	3	22,5	0,04054	0,25688	0,74312	0,0545
27 - 36	5	31,5	0,06757	0,32433	0,67567	0,1000
36 - 45	5	40,5	0,06757	0,39188	0,60812	0,1111
45 - 54	0	49,5	0,00000	0,39188	0,60812	-
54 - 63	0	58,5	0,00000	0,39188	0,60812	-
63 - 72	5	67,5	0,06757	0,45943	0,54057	0,1260
72 - 81	5	76,5	0,06757	0,52700	0,47300	0,1420
81 - 90	10	85,5	0,13514	0,66222	0,33778	0,4000
90 - 99	0	94,5	0,00000	0,66222	0,33778	-
99 - 108	0	103,5	0,00000	0,66222	0,33778	-
108 - 117	9	112,5	0,12162	0,78388	0,21612	0,5825
117 - 126	3	121,5	0,04054	0,82433	0,17567	0,2308
126 - 134	0	130	0,00000	0,82433	0,17567	-
134 - 143	0	138,5	0,00000	0,82433	0,17567	-
143 - 152	3	147,5	0,04054	0,86488	0,13512	0,3000
152 - 161	5	156,5	0,06757	0,93243	0,06757	1,0000
161 - 170	5	165,5	0,06757	1,00000	0,00000	-
Ntotal	74					

Tabela 3.4 - Falhas do Subsistema I

Falha I - Transp. Disp. - cartão mal armado						
Intervalo	Falhas no Intervalo (ni)	xi (ponto médio do Intervalo)	fi (frequência relativa)	^A F(ti)	^A R(ti)	^A A(ti)
0 - 9	4	4,5	0,04818	0,04818	0,95182	0,0513
9 - 18	17	13,5	0,20732	0,25611	0,74389	0,2781
18 - 27	22	22,5	0,25829	0,51440	0,48560	0,5641
27 - 36	6	31,5	0,07317	0,58757	0,41243	0,1818
36 - 45	0	40,5	0,00000	0,58757	0,41243	-
45 - 54	0	49,5	0,00000	0,58757	0,41243	-
54 - 63	0	58,5	0,00000	0,58757	0,41243	-
63 - 72	0	67,5	0,00000	0,58757	0,41243	-
72 - 81	0	76,5	0,00000	0,58757	0,41243	-
81 - 90	0	85,5	0,00000	0,58757	0,41243	-
90 - 99	0	94,5	0,00000	0,58757	0,41243	-
99 - 108	0	103,5	0,00000	0,58757	0,41243	-
108 - 117	0	112,5	0,00000	0,58757	0,41243	-
117 - 126	0	121,5	0,00000	0,58757	0,41243	-
126 - 134	0	130	0,00000	0,58757	0,41243	-
134 - 143	13	138,5	0,15854	0,75611	0,24389	0,6500
143 - 152	0	147,5	0,00000	0,75611	0,24389	-
152 - 161	3	156,5	0,03659	0,79270	0,20730	0,1765
161 - 170	1	165,5	0,01220	0,80490	0,19510	0,0625
170 - 179	0	174,5	0,00000	0,80490	0,19510	-
179 - 188	16	183,5	0,19510	1,00000	0,00000	-
Ntotal	62					

MTBF = total de horas observadas / quantidade de falhas no período.

Legenda:

^AF(ti) - estimativa da função distribuição acumulada de falhas

^AR(ti) - estimativa da função confiabilidade

Na tabela 3.4 temos o modo de falha associado ao dispositivo que realiza a abertura do cartão para posterior deposição dos cartuchos e fechamento final da embalagem. Desta forma, faremos uma análise não-paramétrica a partir dos dados coletados experimentalmente, o que nos permite estimar o comportamento da confiabilidade, da probabilidade de falha e da taxa de falha em relação ao tempo do subsistema escolhido, porém, sem utilizar a técnica estatística de ajuste de uma distribuição específica ao fenômeno de interesse e a respectiva determinação de seus parâmetros. Devido à quantidade de falhas e do número de blocos no qual o sistema foi dividido, daremos ênfase no subsistema de sensoriamento do equipamento que, por sua vez, é alvo do projeto, realizando uma análise não-agrupada e, posteriormente, uma análise agrupada das falhas coletadas. Na figura 3.2 temos o subsistema de sensoriamento visualizado com todos os seus componentes.

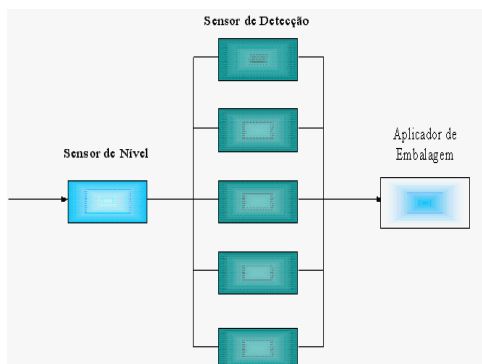


Figura 3.2 - Subsistema Sensor

Este subsistema é composto de um sensor que verifica o nível mínimo de material existente na máquina e cinco sensores responsáveis pela detecção do produto. Dependendo da leitura realizada pelos sensores, o dispositivo de aplicação de embalagem seria acionado. Isso se resume no fato de que se houver material este será embalado e se não houver será rejeitado, não havendo assim perda deste material no processo produtivo.

Abaixo temos os dados agrupados, conforme visualizado na tabela 3.6, e realizado os cálculos dos parâmetros de confiabilidade, densidade de falhas e taxa de falhas estimadas.

Tabela 3.6 - Falhas do Subsistema F Reunido de Forma Agrupada

Falha F - Falta de Cartucho						
Intervalo	Falhas no Intervalo (ni)	xi (ponto médio do intervalo)	fi (frequência relativa)	$\hat{F}(ti)$	$\hat{R}(ti)$	$\hat{\lambda}(ti)$
0-9	9	4,5	0,06338	0,0634	0,9366	0,0677
9-18	11	13,5	0,07746	0,1408	0,8592	0,0902
18-27	8	22,5	0,05634	0,1972	0,8028	0,0702
27-36	14	31,5	0,09859	0,2958	0,7042	0,1400
36-45	10	40,5	0,07042	0,3662	0,6338	0,1111
45-54	10	49,5	0,07042	0,4366	0,5634	0,1250
54-63	0	58,5	0,00000	0,4366	0,5634	0,0000
63-72	10	67,5	0,07042	0,5070	0,4930	0,1429
72-81	20	76,5	0,14085	0,6479	0,3521	0,4000
81-90	10	85,5	0,07042	0,7183	0,2817	0,2500
90-99	0	94,5	0,00000	0,7183	0,2817	0,0000
99-108	2	103,5	0,01408	0,7324	0,2676	0,0526
108-117	0	112,5	0,00000	0,7324	0,2676	0,0000
117-126	6	121,5	0,04225	0,7746	0,2254	0,1875
126-134	0	130	0,00000	0,7746	0,2254	0,0000
134-143	0	138,5	0,00000	0,7746	0,2254	0,0000
143-152	6	147,5	0,04225	0,8169	0,1831	0,2308
152-161	6	156,5	0,04225	0,8592	0,1408	0,3000
161-170	10	165,5	0,07042	0,9296	0,0704	1,0000
170-179	10	173,5	0,0704	1,0000	0,0000	-
Total	142					

Legenda:

$\hat{F}(ti)$ - estimativa da função distribuição acumulada de falhas

$\hat{R}(ti)$ - estimativa da função confiabilidade

A partir do conhecimento das taxas de falhas de cada subsistema pode-se adotar o critério qualitativo para estimar quais dos subsistemas são críticos. Pode-se observar que alguns subsistemas possuíam muitas falhas com λ alto e crescente, outros subsistemas com poucas falhas, embora com λ elevado mas com falhas concentradas e, por fim, outros subsistemas com muitas falhas e λ praticamente constante. Para subsistemas que possuem muitas falhas com taxas elevadas, desde que crescentes ou concentradas, podem ter sua performance melhorada a partir de bons critérios de manutenção.

Já os subsistemas que possuem muitas falhas, porém constantes em toda sua vida útil, podem ter sua performance melhorada com a reavaliação do seu projeto e/ou substituição dos itens que falharam. Com base nestas informações, percebeu-se que subsistema F possuía taxas de falhas constantes, uma vez que em determinados momentos reconfigurações para diferentes produtos aconteciam. Isso se resume no fato de que para cores críticas o subsistema F possuía modo de falhas eram mais frequentes ao passo que para as cores críticas não se percebem muitas variações.

Em outras palavras, as cores críticas (cinza e preto) tornavam o subsistema fora de controle e o sistema de detecção passível a falhas enquanto este mesmo subsistema operava de forma controlada para as cores não críticas (verde e branca). Com a necessidade de se evitar elevadas taxas de falhas e paradas para reconfigurações, optou-se pela utilização parcial do sistema de detecção até que uma solução satisfatória fosse encontrada. Por outro lado, o desconhecimento do comportamento dos modos de falhas nos levou à realização de testes não-paramétricos e, como consequência, análises agrupadas e não-agrupadas dos dados obtidos.

Pelo exposto, os estudos realizados nos indicaram que o subsistema F seria escolhido. As informações do comportamento das taxas de falhas, o decréscimo da confiabilidade deste subsistema, agravada pela sua utilização parcial, nos capacitaram a planejar a implementação final do projeto para melhoria do sistema de detecção e torná-lo confiável para detecção de produtos independentemente da cor que este possua.

4. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO EQUIPAMENTO

Durante a análise das falhas ocorridas no equipamento, dentro do período de observação, constatou-se uma pequena evolução em alguns modos de falhas, os quais tiveram ocorrências mais frequentes (falha de cartão - *Falha A* e falha de detecção dos sensores - *Falha C*).

De maneira geral, muitas das falhas ocorridas no processo eram oriundas da falta de qualidade de determinadas matérias-primas, sendo que as demais eram defeitos de máquina. Um exemplo desta afirmativa está retratado nos subsistemas da máquina relacionados com a transferência de cartão (*Falha A*). Estes cartões tinham a finalidade de embalar o produto e possuíam relativa criticidade, pois suas falhas ocorriam de forma preponderante quando a qualidade do material composto do cartão era inferior. Os subsistemas de transferência de produto para o interior do cartão entravam em falha quando da perda de sincronismo do equipamento - relativamente raro de acontecer. Analisando-se do ponto de vista funcional, falsas falhas influenciavam seu comportamento, pois ora rejeitava produtos conformes ora embalava aqueles considerados não-conformes.

Já o subsistema que relaciona todos os sensores de detecção da máquina possuíam modos de falhas distintos (*Falha F*), que dependiam da característica do produto a ser produzido. Este comportamento conferia ao equipamento baixos índices de produtividade, perdas com reconfiguração, manutenção corretiva e de material. Além disso, suas falhas contribuíam com percentuais significativos de falhas no subsistema de transferência de cartão. Por ser este o subsistema que mais afetava o desempenho do equipamento, uma avaliação mais criteriosa será realizada à seguir.

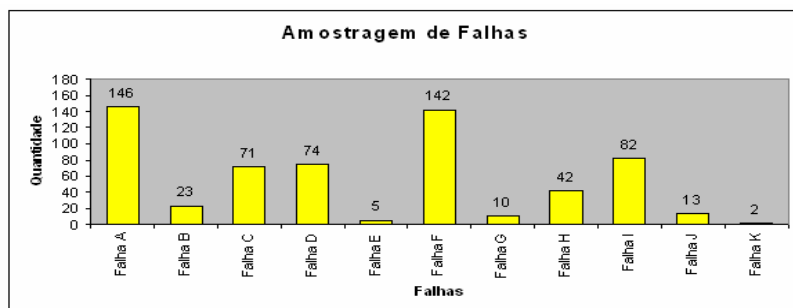


Figura 4.1 - Amostragem de Falhas da Máquina de Embalagem

4.1 Avaliação do Sistema de Detecção

De acordo com os dados obtidos anteriormente, fez-se necessário a tomada de ações em alguns subsistemas críticos do equipamento, sobretudo aqueles que afetavam o processo produtivo e a qualidade final do produto.

No entanto, a grande quantidade de falhas e paradas causadas pelo subsistema F no processo produtivo, conforme mostrado na figura 4.2, fizeram com que algumas medidas contingências fossem postas em prática, apenas com o intuito de evitar perdas produtivas. Isso fez com que o subsistema F passasse a possuir confiabilidade zero e ações corretivas tornar-se-iam fundamentais para a solução do problema inicial.

Esta amostragem das falhas foram colhidas de forma aleatória, quando da exigência de reconfiguração no processo. Os picos observados estão relacionados com a quantidade de falhas durante aquele intervalo, usualmente originários de testes de detecção realizados com os sensores após a reconfiguração.

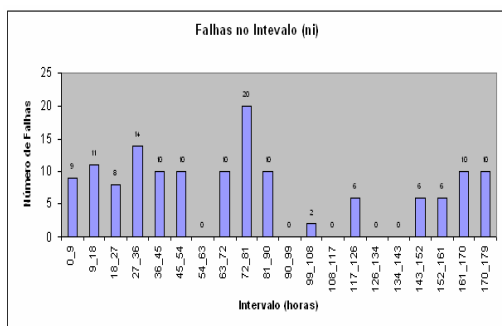


Figura 4.2 - Evolução Temporal de Falhas do Subsistema F

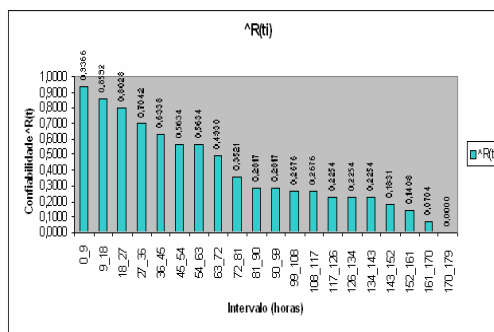


Figura 4.3 - Evolução Temporal da Confiabilidade do Subsistema F

Com efeito, podemos admitir que a confiabilidade deste subsistema possuía uma taxa de decaimento bastante acentuada, quando analisado sob o aspecto de sua confiabilidade. Além disso, é importante salientar que este modo de falha está associado exclusivamente ao subsistema em análise, podendo haver a existência de outros que possam levá-lo a uma falha operacional. As figuras 4.3 e 4.4 respectivamente demonstram o decaimento da confiabilidade e o proporcional aumento da probabilidade de falhas do subsistema. Já a figura 4.5 mostra a taxa de falhas associada ao subsistema.

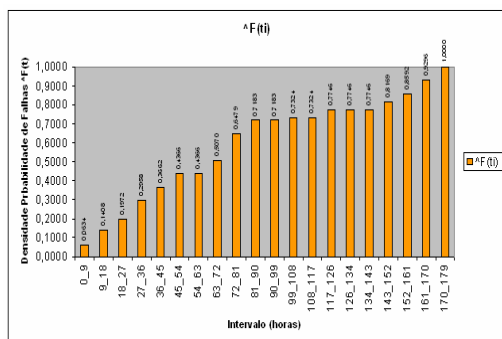


Figura 4.4 - Evolução Temporal da Função Distribuição Acumulada de Falhas do Subsistema F

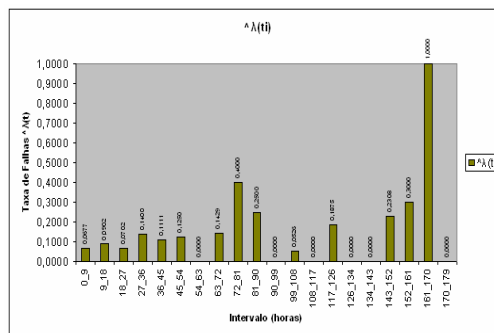


Figura 4.5 - Taxa de Falhas Estimada do Subsistema F no Intervalo (ni)

5. SÍNTESE E CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo a avaliação de um equipamento de embalagem e seu sistema de detecção, auxiliado por sensores, abordando os aspectos de confiabilidade deste sistema e a solução da falha de detecção de produtos críticos. Com efeito, optamos por realizar uma análise de confiabilidade de um determinado equipamento de embalagem e realizar testes não paramétricos para encontrar as estimativas de confiabilidade, densidade de probabilidade de falhas e taxa da falhas dos subsistemas do equipamento, podendo, ao final, estabelecer critérios para minimizar ou eliminar eventuais impactos causados pelos diferentes modos de falhas transcorridos no período de análise. Conseguiu-se formular um modelo de análise de falhas do processo, seguindo as relações de confiabilidade de sistemas, com o intuito de solucionar o problema ora apresentado. A estrutura proposta consistiu em: Coleta de Dados (Falhas e Tempo); Associação das falhas com seus respectivos subsistemas; Cálculo das taxas de falhas e das estimativas de confiabilidade de cada subsistema; Escolha do subsistema crítico; Avaliação do subsistema escolhido; Pesquisa de possíveis soluções para redução e ou eliminação de falhas do subsistema avaliado; Instalação e Avaliação do modelo proposto.

Por se tratar de um processo que tinha desdobramentos no consumidor final, questionam-se os procedimentos adotados para a qualificação do processo e do equipamento realizado, em conjunto, com a engenharia e produção de fábrica. Todas as etapas deveriam ser consideradas para as várias combinações de quantidade e cor dos produtos, velocidade de processo e o tempo total de reconfiguração necessário para as conversões. Este simples negligenciamento desencadeou uma série de custos extras oriundas de perdas de material, deslocamento de mão-de-obra, baixa performance do equipamento, excesso de paradas, retrabalho e reclamação do consumidor final com a falta de componentes nos produtos comprados. Cabe salientar que o sistema de sensoramento original do equipamento não continha defeito sendo que apenas não era robusto o suficiente no processo para qual foi destinado, falhando completamente para determinadas cores críticas que não ofereciam o contraste suficiente para a correta detecção pelo sensor. Como o objetivo final era eliminar a falha de detecção, várias tecnologias foram testadas, não se levando em consideração o custo final de implementação, uma vez que se tratavam apenas de testes. Para surpresa geral tivemos algumas conclusões, antes não esperadas no início da concepção do projeto, onde as tecnologias mais caras e específicas para o tratamento de cores não surtiram grande efeito nos resultados finais, tendo inclusive tido o pior desempenho. As tecnologias de baixo custo tiveram melhor performance aliada ao fato de que foram aprimoradas com o uso de conceitos de óptica quando da utilização de lentes e propiciando o contraste necessário para a correta detecção sem oscilação de leitura.

Outro ponto a se destacar foi o fato de que o resultado final foi além das expectativas, no que tange aos tempos de reconfiguração e capacidade de detecção de diferentes cores. Estimava-se a redução do tempo de ajuste para as cores críticas e minimização das cores menos críticas e a correta detecção de todas elas sem oscilação e falsas falhas no processo produtivo. Percebeu-se que apenas um ajuste era necessário para o reconhecimento de presença e ausência de material para todas as cores e posições a serem detectadas, o que reduziu a zero os tempos de reconfiguração, independentemente se estes fossem de modelos ou quantidades.

Como propostas para trabalhos futuros poderemos realizar análises paramétricas para todos os subsistemas do equipamento de embalagem e definir qual distribuição é a mais adequada para a realização dos parâmetros de confiabilidade, do ponto de vista da análise por confiabilidade, muitos softwares encontram-se disponíveis para auxiliar a elaboração e implementação de sistemas da manutenção centrada na confiabilidade. Como opção alternativa, pode-se desenvolver um sistema de coleta de dados e sua posterior avaliação centrados na confiabilidade onde a atual tendência de planejamento estratégico das funções de manutenção centrada na confiabilidade de sistemas e/ou processos possibilitará um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis para a minimização e prevenção de falhas nos processos produtivos.

REFERENCIAS

- Cardoso, I. ***Elaboração de Políticas de Manutenção***. A. P. Escola Politécnica da USP - São Paulo, 2006.
- Cardoso, I. ***Elaboração de Políticas de Manutenção: uma Abordagem voltada à Análise de Confiabilidade***. A. P. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP – PMR - São Paulo, 2000.
- Droguett, E.L. ***The combined use data and expert estimates in population variability analysis***. Reliability Engineering and Systems Safety, 2004.
- FILHO, V. B. ***Confiabilidade Básica e Prática: Métodos para avaliar ou prever a qualidade de produtos ou sistemas ao longo do tempo, aproveitando os resultados como vantagem competitiva***. Editora Edgard Blücher Ltda, 1ª Edição, 1997.
- Freitas, E. A., Colosimo, E. A. ***Confiabilidade: Análise de Tempo de Falha e Testes de Vida Acelerados***. UFMG - Fundação Christiano Ottoni, 1997.
- Lafraia, J. R. ***Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade***. Qualitymark Editora, 2001.
- Piazza, G. ***Introdução à Engenharia de Confiabilidade***. EDUCS – Editora da Universidade de Caxias do Sul, 2000.
- Souza, G. F. M. ***Confiabilidade***. Escola Politécnica da USP-São Paulo, Brasil, 2002.
- Souza, G. F. M., Cardoso, I. A. P. ***Confiabilidade, Curso de Atualização em Mecatrônica*** - Escola Politécnica da USP – São Paulo, 2002.