

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA

GERENCIAMENTO DO CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE: UM ESTUDO  
APLICADO NO SETOR DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Ismar Luis Schaedler

Porto Alegre, 2003

**Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de mestre em ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.**

---

**Prof. José L. D. Ribeiro**

Orientador  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

**Prof<sup>a</sup> Helena Beatriz Bettella Cybis**

Coordenadora  
Mestrado Profissionalizante em Engenharia  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BANCA EXAMINADORA

**Prof. Vilson Batista**  
PPGEP/UFRGS

**Prof. Joyson Luiz Pacheco**  
PPGEP/UFRGS

**Prof. Carlos Ricardo Trein**  
PPGCS/UFRGS

*DEDICO ESTE TRABALHO À MINHA ESPOSA  
ANDRÉIA E À MINHA FILHA LUIZA*

*AGRADEÇO AOS COLEGAS Peter Olsen, Steve  
Newberry e Dwight DeDoncker PELA  
OPORTUNIDADEE PELAS HORAS DE  
TREINAMENTOQUE RECEBI PARA TRABALHAR COM  
O TEMA CONFIABILIDADE NA EMPRESA JOHN  
DEERE QUE FEZ COM QUE EU DESENVOLVESSE  
ESTE TEMA E APRIMORASSE MEUS  
CONHECIMENTOS.*

## RESUMO

Este trabalho é um estudo aplicado da implementação e utilização do gerenciamento do crescimento da confiabilidade no setor de máquinas agrícolas na empresa John Deere Brasil SA. O uso de técnicas e softwares de confiabilidade para monitorar o desenvolvimento do projeto da colheitadeira de grãos – modelo da série 1100 – foi fundamental para determinar o momento exato de introduzir o produto no mercado. A análise das falhas dos produtos existentes, sugestões dos clientes e informações da área de suporte e serviços, serviram como base para a introdução de diversas melhorias para o novo modelo de colheitadeira. As principais atividades referentes à confiabilidade foram, a previsão da confiabilidade, testes e planejamento do crescimento da confiabilidade, modelagem do crescimento da confiabilidade e a análise dos dados obtidos com os testes de campo.

O objetivo da implementação das ferramentas do gerenciamento do crescimento da confiabilidade foi administrar as informações dos eventos de testes de campo, para que as falhas verificadas durante o período de testes fossem reprojctadas e as ações corretivas implementadas e verificadas suas melhorias.

## ABSTRACT

This is an applied study of the implementation and utilization of *Reliability Growth Management* as used by John Deere Brasil S.A. on agricultural equipment. The use of reliability software and techniques to manage and develop the 1100 series grain combine was fundamental in determining the best moment to release the product to the market place. Failure analysis of current products as well as input from customers, service and product support areas served as the basis for the introduction of diverse improvements to the new combine model. The principal activities of Reliability Growth Management are: *Reliability Prediction, Test & Reliability Growth Planning, Reliability Growth Modeling* and *Field Test Data Analysis*.

The implementation objective of the *Reliability Growth Management* tools was to enable administration of field test events such that failures identified during field tests were fixed with implemented corrective actions as well as subsequent verification of the improvements.

## ÍNDICE

RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
GLOSSÁRIO.....	xv
<b>CAPÍTULO 1</b>	
Introdução.....	18
1.1 Comentários Iniciais.....	18
1.2 Tema e Objetivos.....	20
1.3 Justificativa do Tema e Objetivos .....	20
1.4 Método de Trabalho .....	22
1.5 Estrutura .....	23
1.6 Limitações .....	23
<b>CAPÍTULO 2</b>	
Revisão da Literatura.....	25
2.1 Confiabilidade é uma característica da qualidade .....	25
2.2 Ciclo de Vida de um Produto .....	27
2.2.1 Fase de projeto.....	27
2.2.1.1 Definição dos objetivos .....	27
2.2.1.2 Conceito.....	27
2.2.1.3 Projeto preliminar .....	27
2.2.1.4 Revisão preliminar de projeto .....	28
2.2.1.5 Reprojeto .....	28
2.2.1.6 Protótipo .....	28
2.2.1.7 Teste de protótipo .....	29
2.2.1.8 Reprojeto .....	29
2.2.2 Fase de produção .....	29

2.2.2.1 Liberação para produção .....	29
2.2.2.2 Início da produção .....	29
2.2.2.3 Mudanças de projeto.....	30
2.2.2.4 Produção contínua .....	30
2.2.3 Fase de suporte .....	31
2.2.3.1 Entrega do produto .....	31
2.2.3.2 Ações corretivas .....	31
2.2.4 Final de vida .....	31
2.2.4.1 Final de vida ou substituição .....	31
2.3 Definição de Termos Segundo a AMSAA (1999) .....	31
2.3.1 Crescimento da confiabilidade .....	32
2.3.2 Gerenciamento do crescimento da confiabilidade.....	32
2.3.3 Conserto.....	32
2.3.4 Ação corretiva .....	32
2.4 Avaliação .....	32
2.4.1 Benefícios do gerenciamento do crescimento da confiabilidade.....	32
2.4.1.1 Deficiências imprevistas.....	33
2.4.1.2 Projetando melhoria com o surgimento de problemas .....	33
2.4.1.3 Aumento da probabilidade de alcançar os objetivos .....	33
2.4.2 Esboço da administração do crescimento da confiabilidade .....	33
2.4.2.1 Plano de crescimento da confiabilidade .....	33
2.4.2.2 Avaliação do crescimento da confiabilidade.....	34
2.4.2.3 Controle do crescimento da confiabilidade .....	34
2.4.3 A função do gerenciamento .....	34
2.4.4 Atividades básicas de confiabilidade.....	35
2.4.5 Processo de crescimento da confiabilidade .....	35
2.4.5.1 Processo básico.....	35
2.4.5.2 Taxa de crescimento .....	36
2.4.6 Gerenciamento do crescimento da confiabilidade no controle de processos .....	37
2.4.6.1 Métodos básicos .....	37
2.4.6.2 Comparação de métodos.....	38
2.4.6.3 Avaliação.....	38
2.4.6.4 Monitoramento .....	39
2.4.7 Fatores que influenciam forma da curva de crescimento .....	40



2.4.7.1 Fases do programa de desenvolvimento.....	40
2.4.7.2 Fases de teste .....	41
2.4.7.3 Configurações de sistemas .....	41
2.4.7.4 Tempo para conserto .....	42
2.4.7.4.1 Test – Fix – Test	42
2.4.7.4.2 Test – Find – Test .....	43
2.4.7.4.3 Test – Fix – Test com ações corretivas atrasadas.....	43
2.4.7.5 Mudanças de forma devido ao cronograma.....	45
2.4.8 Conceitos de crescimento da confiabilidade .....	45
2.4.8.1 Níveis de consideração para crescimento da confiabilidade .....	45
2.4.8.2 Análise de programas anteriores.....	46
2.4.9 Planejamento .....	46
2.4.9.1 Planejamento da curva de crescimento.....	46
2.4.9.2 Curva de crescimento idealizada .....	47
2.4.10 Rastrear eventos.....	48
2.4.10.1 Confiabilidade demonstrada.....	48
2.4.10.2 Crescimento da confiabilidade de curva rastreada .....	48
2.4.11 Projeção .....	49
2.4.11.1 Confiabilidade extrapolada.....	49
2.4.11.2 Confiabilidade projetada.....	49
2.5 Atividades do Engenheiro da Confiabilidade.....	50
2.5.1 Estimar a confiabilidade, Previsão, e plano de crescimento.....	51
2.5.2 Participar em todas as revisões de projeto.....	51
2.5.3 Partilhamento da confiabilidade .....	51
2.5.4 Planejamento e administração dos testes de confiabilidade .....	52
2.5.5 Realizar a análise estatística dos dados obtidos nos testes.....	52
2.5.6 Manutenção do sistema de dados de confiabilidade.....	52
2.5.7 Dar suporte para: produção, qualidade e materiais comprados.....	52
2.5.8 Definir as especificações de confiabilidade para itens comprados.....	53
2.5.9 Identificar as causas de degradação da confiabilidade .....	53

### CAPÍTULO 3

modelo de Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade: A ABORDAGEM DA JOHN DEERE .....	54
---	----

3.1 Processo de Desenvolvimento de Produto .....	54
3.2 Etapas do Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade .....	55
3.3 A relação entre o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) e o Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade .....	56
3.4 Fases do Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade .....	58
3.4.1 Fase de planejamento .....	58
3.4.1.1 Previsão da confiabilidade.....	59
3.4.1.2 Teste e planejamento do crescimento da confiabilidade .....	61
3.4.2 Fase de Análise.....	68
3.4.2.1 Modelagem do crescimento da confiabilidade e análise de sistemas reparáveis .....	68
3.4.2.1 Resultado da Confiabilidade – RSA.....	69
3.4.2.2 Desenvolvimento ou estratégias de testes de protótipos .....	71
3.4.4.3 Previsão de Garantia.....	71
CAPÍTULO 4	
Crescimento da Confiabilidade: Estudo Aplicado .....	73
4.1 Introdução.....	73
4.2 Histórico da Empresa .....	73
4.3 Produtos Atuais .....	76
4.4 John Deere no Mundo .....	78
4.5 Missão da Empresa.....	78
4.6 Produto que Originou o Estudo de Caso .....	78
4.6.1 Colheitadeira de grãos John Deere 1450 e 1550 .....	79
4.6.2 Características reprojctadas no produto em estudo: .....	79
4.6.3 Projeto.....	80
4.6.3.1 Alimentador do cilindro.....	80
4.6.3.2 Sistema de trilha .....	81
4.6.3.3 Sistema de separação e limpeza .....	82
4.6.3.4 Cabine de operação.....	83
4.6.3.5 Sistema elétrico .....	85
4.6.3.6 Sistema hidráulico .....	85
4.6.3.7 Picador de palhas .....	85
4.6.3.8 Tanque graneleiro e tubo de descarga .....	86
4.6.3.9 Motor .....	86

4.6.3.10 Servicibilidade .....	86
4.7 Estudo Aplicado: Gerenciamento da Confiabilidade .....	87
4.7.1 Planejamento do gerenciamento da confiabilidade .....	87
4.7.1.1 Previsão da confiabilidade.....	87
4.7.1.2 Teste e planejamento do crescimento da confiabilidade .....	94
4.7.2 Análise do gerenciamento da confiabilidade.....	95
4.7.2.1 Modelagem do crescimento da confiabilidade .....	95
4.7.2.2 Análise de sistemas reparáveis – RSA .....	97
4.7.3 Desenvolvimento e estratégias de testes de protótipos.....	99
4.8 Discussão da Metodologia Utilizada .....	107
CAPÍTULO 5	
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	109
5.1 Conclusões.....	109
5.2 Sugestões Para Trabalhos Futuros.....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.	TÍTULO	Pág.
FIGURA 1	- Modelo de Avaliação do Crescimento da Confiabilidade.....	36
FIGURA 2	- Modelo de Avaliação do Crescimento da Confiabilidade com Fabricação de Componentes para Itens Onde Ocorreram Falhas .....	36
FIGURA 3	- Modelo de Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade (Avaliação).....	38
FIGURA 4	- Exemplo do Planejamento do Crescimento da Confiabilidade e Avaliações .....	39
FIGURA 5	- Modelo do Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade (Monitorado)....	40
FIGURA 6	- Gráfico Típico de Programa de Confiabilidade: <i>Test – Fix – Test</i> .....	42
FIGURA 7	- Gráfico do Programa de Confiabilidade: <i>Test – Find – Test</i> .....	43
FIGURA 8	- Gráfico de um Programa de Confiabilidade: <i>Test – Find – Test</i> com Ações Corretivas Atrasadas.....	44
FIGURA 9	- Comparação das Curvas de Crescimento de Confiabilidade baseado na Duração do Teste Vs Tempo.....	45
FIGURA 10	- Desenvolvimento da Curva de Crescimento Planejada em uma Fase por Fase	47
FIGURA 11	- Determinação de Análise global de Curva de Crescimento Planejada .....	48
FIGURA 12	- Crescimento da Confiabilidade com Curva Rastreada.....	49
FIGURA 13	- Confiabilidade Projetada e Extrapolada.....	50
FIGURA 14	- Diagrama do Processo de Desenvolvimento de Produto.....	55
FIGURA 15	- Etapas do Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade .....	56
FIGURA 16	- Processo PDP & as Etapas do Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade .....	57
FIGURA 17	- Divisão das Etapas do Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade .....	58
FIGURA 18	- Fluxograma da Previsão da Confiabilidade.....	60
FIGURA 19	- Modelo de Crow .....	61
FIGURA 20	- Curva do Crescimento da Confiabilidade .....	62
FIGURA 21	- Curva do Crescimento da Confiabilidade a 50% de Confiabilidade Inicial.....	64
FIGURA 22	- Testes: Fase de Desenvolvimento e Fase Operacional.....	65

FIGURA 23 - Fluxograma do Planejamento de Teste do Crescimento da Confiabilidade.....	67
FIGURA 24 - Diferença entre Sistema Melhorado e Sistema Deteriorado .....	70
FIGURA 25 - Modelagem do Crescimento da Confiabilidade .....	71
FIGURA 26 - Fabricação e análise de Confiabilidade .....	72
FIGURA 27 - Trilhadeira SLC .....	73
FIGURA 28 - Colheitadeira Rebocada.....	74
FIGURA 29 - Primeira Colheitadeira Automotriz brasileira .....	74
FIGURA 30 - União entre SLC e Deere & Company (EUA).....	75
FIGURA 31 – Fábrica da John Deere Brasil em Horizontina/RS - Brasil, 2003 .....	76
FIGURA 32 – Colheitadeiras de Grãos.....	76
FIGURA 33 - Colheitadeiras Rotativas.....	76
FIGURA 34 – Tratores .....	77
FIGURA 35 – Plantadeiras.....	77
FIGURA 36 – Plataformas de Corte .....	77
FIGURA 37 – Plataformas para Milho .....	77
FIGURA 38 - Colheitadeiras de Cana de Açúcar.....	78
FIGURA 39 – Colheitadeira John Deere 1450.....	79
FIGURA 40 – Sistema de Trilha .....	81
FIGURA 41 – Saca palhas (1) versão arroeira; (2) versão básica (milho / soja); (3) trigo e outras gramíneas.....	82
FIGURA 42 – Ventilador .....	83
FIGURA 43 – Processo interativo de Previsão da confiabilidade .....	88
FIGURA 44 - Atividades preparatória dos Especialistas .....	90
FIGURA 45 - Atividades de Avaliação dos Especialistas .....	90
FIGURA 46 – Gráfico Típico da modelagem (não é original do projeto) .....	96
FIGURA 47 – Gráfico da modelagem e acompanhamento da confiabilidade.....	97
FIGURA 48 – Estrutura do Software RSA .....	98
FIGURA 49 – Codificação dos Tipos de Eventos no Event Tracking System.....	100
FIGURA 50 – Máscara do Event Review – John Deere.....	101
FIGURA 52 – Modelos de gráficos típicos de uma análise de confiabilidade.....	103
FIGURA 53 – Modelos de gráficos típicos de análise individual de falhas.....	104
FIGURA 54 – Modelos de gráficos típicos de análise de múltiplas falhas.....	105

## ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 01: Diretrizes de confiabilidade por aplicar créditos de correção de reprojeto para taxa de confiabilidade ajustada.....	106
---	-----

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – Experts Input Menu – John Deere .....	92
TABELA 2 – Cf - Fator de Comparação de Parâmetros.....	93

## GLOSSÁRIO

AMSAA - Army Material Systems Analysis Activity - Departamento do exército dos Estados Unidos da América

CF - Tabela com os fatores de comparação

CMTBF - Tempo médio acumulado entre falhas

Event Tracking - Banco de dados com informações de campo para a análise da confiabilidade

Event Entry - Parte do Event Tracking utilizada pelo técnico de campo

Event Review - Parte do Event Tracking utilizada pelos projetistas e engenheiros da qualidade e confiabilidade para as reuniões de análises dos eventos de campo

Expert Input Menu - Planilha eletrônica para compilar informações

FMEA - Análise de modo e efeito de falhas

IMTBF - Tempo médio instantâneo entre falhas

$\lambda$  - Taxa de falha em um período de tempo especificado. "Lambda"

$\lambda$  Mean - Taxa média de falha no período de garantia

$\lambda$  Warranty - Taxa de falha no período de garantia do produto

MTBF - Tempo médio entre falha

MTBMA - Tempo médio entre (ou antes de) ações de manutenção

MTBR - Tempo médio entre (ou antes de) consertos

MTTF - Tempo médio até falha

PDP - Processo de desenvolvimento de produto

PMTBF - Tempo médio projetado entre falhas

Recalls - Substituir componentes que apresentam problemas em máquinas que já estão em poder do cliente sem custo para os mesmos.

Redesign - Re projetar um determinado componente ou sistema

RGM - Gerenciamento do crescimento da confiabilidade

RSA - Análise de sistemas reparáveis

Test-Find-Test - Estratégia de teste para protótipos em análises de confiabilidade

Test-Fix-Test - Estratégia de Teste para Protótipos em análises de confiabilidade

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Comentários Iniciais

#### A Importância da Confiabilidade

Nos últimos anos, a confiabilidade tornou-se um tópico de grande importância num contexto global. O interesse pela confiabilidade iniciou com a preocupação no desenvolvimento de sistemas de armamentos de grande porte. Posteriormente, esta ênfase seria refletida no mercado civil, e a indústria acabou tomando consciência da confiabilidade como disciplina formal. Conferências e seminários de confiabilidade passaram a ser organizados, departamentos de confiabilidade foram formados dentro das empresas, programas e exigências de confiabilidade começaram a aparecer em especificações e em contratos.

A resposta pelo interesse na confiabilidade poderá ser encontrada na revolução tecnológica que vem ocorrendo nas últimas décadas. Em contrapartida, a Segunda Guerra Mundial acelerou esta revolução significativamente na fabricação de armamentos militares. Mas além de acelerar os avanços da tecnologia, as guerras também vivenciaram e enfatizaram a importância da confiabilidade (Lloyd; Lipow, 1984).

O tema confiabilidade continua se desenvolvendo como um elemento chave na competição entre as indústrias a nível mundial em todos os segmentos, tais como: setor automobilístico, produtos domésticos, brinquedos e comunicação.

O que se observa atualmente é que os consumidores não aceitam produtos que necessitam reparos freqüentes, pois há muitas alternativas e opções competitivas. Além disso, os usuários não podem ficar sem determinados produtos, pois dependem do funcionamento



dos mesmos. Por exemplo, a maioria das residências não pode ficar sem uma geladeira, nem podem assumir o ônus de possuírem uma geladeira reserva (Lloyd; Lipow, 1984).

Como resultado, o tema da Confiabilidade tem se ampliado e tornou-se fundamental ferramenta na maioria das indústrias.

Ao mesmo tempo em que se realizam reparos periódicos de um produto, o mesmo acaba deixando de ser usado. Isso representa um custo intrínseco e inevitável, pago pelo próprio usuário. Para um produto confiável, é esperado que não tenha custos adicionais. A compreensão deste aspecto tem sido a causa de uma das maiores mudanças no balanço da economia mundial nos últimos 20 anos (Lloyd; Lipow, 1984).

Outro assunto analisado juntamente com a confiabilidade é a responsabilidade legal, ocorrida quando um produto causa algum tipo de ferimento ou dano físico devido a um mau funcionamento. Em geral, no campo da aviação, para citar um exemplo, a garantia da segurança tem aumentado os custos das aeronaves. De modo geral, a concepção legal é que qualquer fábrica tem a obrigação de fornecer um produto confiável e deverá pagar pelas conseqüências de um mau funcionamento.

Com o aumento da importância da confiabilidade, há um novo entendimento de como atingi-la e, também, desenvolvê-la. Tem se tornado claro que um produto deve ser projetado para uma utilização contínua e confiável, possuindo fácil manutenção, com um processo de fabricação que pode se basear em controles estatísticos. Dessa forma, o produto será mais barato e a empresa terá uma melhor previsão de entrega, melhor imagem e melhores resultados.

Um departamento de confiabilidade em uma empresa, agindo isolado, não pode alcançar resultados se não houver o envolvimento da Engenharia de Projetos e Manufatura. O departamento de confiabilidade deve ser parceiro no estabelecimento de uma equipe que integre as ações de vários setores. Este grupo multifuncional requer esforços e um total comprometimento com relação à confiabilidade. A Engenharia de Projetos, Manufatura e Serviços devem trabalhar juntos para atingirem os objetivos de confiabilidade superior (Ireson – Coombs, 1988).

## 1.2 Tema e Objetivos

Esta dissertação tem como tema os sistemas de gerenciamento de confiabilidade. Esse tema será discutido no âmbito do desenvolvimento de novos produtos na indústria de máquinas agrícolas.

O estudo pretende abordar todo o ciclo de desenvolvimento de um produto, começando pela **fase de projeto**, na definição dos objetivos de confiabilidade, conceito, projetos preliminares, revisão dos projetos, modificações necessárias “*redesign*” e fabricação dos protótipos. Continua com a **fase produção**, que envolve a liberação das especificações, início da produção, programas de melhorias e produção contínua.

Objetivo principal: melhorar a confiabilidade das colheitadeiras da série 1100 através do gerenciamento do crescimento da confiabilidade.

Objetivo secundário: apresentar as técnicas de gerenciamento do crescimento da confiabilidade utilizadas pela empresa John Deere Brasil.

## 1.3 Justificativa do Tema e Objetivos

Em decorrência da globalização, das mudanças cada vez mais rápidas e acentuadas, da maior exigência dos consumidores, torna-se necessário a utilização de um gerenciamento de confiabilidade na Indústria de Máquinas Agrícolas. Nos dias de hoje, com o aumento da produtividade e a queda dos preços dos produtos agrícolas, uma das formas de permanecer no mercado é fornecendo aos clientes produtos confiáveis.

Qualidade e confiabilidade têm os seus custos, mas a má qualidade e a confiabilidade inferior geralmente conduzem a um custo muito maior. Garantias, responsabilidades, “*recalls*”, e consertos custam milhões de dólares a cada ano. Esses gastos acontecem por que a qualidade e a confiabilidade não receberam a ênfase necessária durante a fase de projeto, manufatura, testes e desenvolvimento, visando atingir a satisfação do cliente. Em geral, as empresas conhecem apenas o custo das ações corretivas, contudo, o custo da prevenção da má qualidade e confiabilidade é geralmente muito menor do que os custos das mesmas (Lloyd; Lipow, 1984).

O orçamento disponível no desenvolvimento de qualquer produto ou sistema é limitado. A confiabilidade requer certas atividades, como planejamento organizado e testes eficientes, e são informações que não podem imediatamente demonstrar o retorno do investimento. Porém, assim que as vendas iniciarem, a confiabilidade obtida pode representar uma excelente forma de economizar dinheiro.

Todos os que produzem bens ou serviços sabem que o sucesso de um negócio depende da satisfação do cliente e do preço pago por este. Isto significa que a qualidade de um produto ou serviço contribui para a satisfação do cliente e para o estabelecimento do preço ou custo considerado razoável.

Há dois conceitos gerais de qualidade com relação às especificações (Ireson – Coombs, 1988):

- Qualidade de Projeto;
- Qualidade de Conformidade.

A qualidade de projeto está relacionada com os processos e planejamentos de qualidade e confiabilidade utilizados nas fases de elaboração do mesmo, ou seja, envolve o estabelecimento de materiais, especificações e processos. Qualidade de conformidade, por sua vez, refere-se a quão bem está a conformidade do produto com relação as especificações estabelecidas na fase anterior.

Em muitos casos, a qualidade de conformidade pode ser determinada rapidamente através de inspeção de peças. A conformidade das especificações pode determinar quanto tempo um produto poderá funcionar corretamente. A qualidade do projeto geralmente determina quão bem e quanto tempo o produto funcionará de maneira certa e aceitável.

Podemos considerar também, que o tempo perdido é quase sempre sinônimo de dinheiro desperdiçado, devido ao custo de “máquina parada” durante a espera para conserto de falhas. As companhias aéreas, por exemplo, quando possuem aeronaves que apresentam falhas mecânicas ou eletrônicas e geram um atraso na partida, conduzindo ao custo de passagem alternativa, ou de hospedagem durante a noite e alimentações extras para os passageiros. Outro exemplo, uma companhia que produz aparelho de televisão ou carros que

estão continuamente na assistência técnica ou concessionária para conserto, constatará que os clientes irão a outro lugar para a próxima compra.

Além desses custos, existe a despesa direta com a manutenção. Mais ainda, para os produtos que precisam ser substituídos ou reparados, devem ser incluídos os custos de transporte, custo de comunicações e logística.

Assim, o propósito deste trabalho será apresentar uma abordagem para incorporar as ferramentas de Confiabilidade no desenvolvimento do projeto de uma colheitadeira de grãos e discutir a aplicação desta abordagem através de um estudo aplicado.

#### **1.4 Método de Trabalho**

Para atingir os objetivos desta dissertação, será utilizado um método de trabalho composto de quatro etapas principais:

- Revisão bibliográfica sobre o planejamento de confiabilidade, orientado ao desenvolvimento de novos produtos, incluindo as fases de projeto, testes de campo e acompanhamentos até a introdução do produto no mercado;
- Proposta para a implementação do Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade para o desenvolvimento de produto na indústria de máquinas agrícolas, baseado no modelo utilizado pelas outras unidades da Deere & Co;
- Estudo aplicado no desenvolvimento do projeto de uma colheitadeira de grãos John Deere (a implementação das ferramentas de Gerenciamento da Confiabilidade ficaram sob a responsabilidade do autor deste trabalho).
- Discussão dos resultados obtidos através da análise do IMTBF (*Instantaneous Mean Time Between Failure*), onde a alta administração decide juntamente com os responsáveis pelo projeto, se o produto está “maduro” para ser lançado no mercado, tomando como referência o objetivo da Confiabilidade Inicial, estabelecido no início do projeto e a expectativa do cliente.

## 1.5 Estrutura

O primeiro capítulo apresenta uma introdução ao tema da dissertação proposta, onde são descritas em linhas gerais, a importância da confiabilidade e a necessidade das empresas utilizarem esta ferramenta. Também são descritos neste capítulo o tema e objetivos desta dissertação bem como sua justificativa, método de trabalho, estrutura e limitações.

No capítulo 2, é realizada a revisão bibliográfica necessária para o entendimento do tema. Serão abordados os temas referentes ao planejamento de confiabilidade durante a fase de projeto, testes de campo e acompanhamentos após a introdução do produto no mercado.

O capítulo 3 abordará um estudo aplicado para a implementação de um Sistema de Gerenciamento de Confiabilidade a ser utilizado no desenvolvimento de produtos da indústria de máquinas agrícolas.

O capítulo 4 apresenta um estudo aplicado onde é relatado o desenvolvimento de um projeto de uma colheitadeira de grãos, onde foi utilizado o sistema de gerenciamento da confiabilidade proposto no capítulo 3. Além do relato, este capítulo apresenta uma discussão dos resultados obtidos através do uso do sistema proposto.

O capítulo 5 apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## 1.6 Limitações

Este trabalho tem como escopo mostrar a implementação de um sistema de gerenciamento de confiabilidade no desenvolvimento de novos produtos na indústria de máquinas agrícolas. Não serão mostrados os exemplos práticos de cálculos e a discussão de modelos de software por tratarem-se de informações sigilosas.

A pesquisa é baseada em revisões bibliográficas sobre estudos iniciais realizados pela indústria de armas militares dos Estados Unidos da América, a AMSAA (*Army Material Systems Analysis Activity*) e também bibliografias referentes à indústria automobilística e à indústria de produtos eletrônicos.

Os sistemas de confiabilidade para a Indústria de Máquinas Agrícolas não são os mesmos utilizados pela indústria automobilística. O sistema requer algumas modificações, pois os volumes de produção são menores.

## **CAPÍTULO 2**

### **REVISÃO DA LITERATURA**

Este capítulo destina-se a fazer uma revisão bibliográfica sobre o tema deste trabalho, com o objetivo de estabelecer a base teórica e os conhecimentos científicos necessários para o desenvolvimento do mesmo.

A literatura para este assunto não é abundante; portanto, este trabalho apoiou-se de forma significativa no AMSAA RELIABILITY GROWTH HANDBOOK – 1999 (*Army Materiel Systems Analysis Activity*), manual utilizado pelo Exército Americano no desenvolvimento de armamentos militares e no HANDBOOK of RELIABILITY ENGINEERING & MANAGEMENT (IRENSEN & COOMBS JR., 1988).

Estas referências serviram como base para estruturar o capítulo da revisão desta dissertação, além de outros livros, artigos e pesquisas realizadas nesta área.

#### **2.1 Confiabilidade é uma característica da qualidade**

“Segundo Ireson e Coombs Jr. (1988)”, a confiabilidade é definida de várias maneiras, mas dentre os estados de definição, o mais amplamente aceito é a habilidade ou capacidade de o produto executar a função especificada, no ambiente designado, cumprindo um período mínimo de tempo ou número mínimo de ciclos ou eventos.

O tempo de vida de um produto é difícil de ser determinado. Muitas vezes ele somente será conhecido após ter realizado sua função por muitos anos e, então, surgir a falha. Obviamente, não se pode usar os produtos até o fim de sua vida para provar que eles atingem as especificações; assim, da mesma maneira que na garantia da qualidade, é necessário confiar em dados obtidos nos testes das amostras deste produto. Isto significa que a confiabilidade

deve ser estabelecida em termos de probabilidade, ou seja, a probabilidade de um produto sobreviver a vida especificada com desempenho satisfatório ao longo do tempo especificado.

Assim, normalmente é denominada a confiabilidade com uma ou mais das seguintes enumerações:

MTTF	Tempo Médio Até Falha
MTBF	Tempo Médio Entre Falha
MTBMA	Tempo Médio Entre (ou antes de) Ações de Manutenção
MTBR	Tempo Médio Entre (ou antes de) Consertos
$\theta_0$	Vida Média em algumas unidades como horas ou ciclos. "Teta subzero"
$\lambda$	Taxa de Falha em um período de tempo especificado. "Lambda"

Segundo o AMSAA (1999), a confiabilidade é a probabilidade que um componente ou sistema execute sua função planejada para um intervalo de tempo especificado sob condições declaradas. O termo “intervalo de tempo especificado” refere-se ao cumprimento da tarefa. O termo "condições declaradas" refere-se à definição completa do enredo no qual o sistema operará. Estas condições devem refletir no uso operacional.

Ao contrário da garantia da qualidade, a confiabilidade requer provas que são obtidas com o passar do tempo. É necessário obter evidências que o produto que foi projetado e construído terá uma vida aceitável. Considerando que esta é uma declaração de probabilidade, o nível de confiança associado às inferências depende da extensão dos testes realizados. Normalmente, para atingir um nível de confiança elevado, requer-se que testes em vários produtos sejam realizados durante vários meses. Quanto mais alto o nível de confiança e confiabilidade desejados, mais testes serão necessários.

O planejamento formal de um programa de confiabilidade é tão importante quanto um plano de garantia da qualidade. Vale lembrar que os problemas de qualidade podem ser detectados junto ao processo de fabricação, mas os problemas de confiabilidade, se não houver um programa de testes, muitas vezes apenas serão detectados meses depois, quando o produto já estiver em operação, nas mãos do cliente.



## **2.2 Ciclo de Vida de um Produto**

Segundo Ireson e Coombs Jr.(1988) são quatro as fases de vida de um produto em que a confiabilidade está presente, interagindo com outros departamentos envolvidos conforme seguem as etapas abaixo:

### **2.2.1 Fase de projeto**

#### **2.2.1.1 Definição dos objetivos**

A Engenharia de Confiabilidade e a Garantia da Qualidade normalmente terão registros e informações de experiências passadas do desenvolvimento de produtos similares. Esses registros servirão como base à Engenharia de Projetos, referente aos tipos de problemas previamente encontrados e as suas respectivas soluções. Isto ajuda o Engenheiro de Projeto a estabelecer objetivos realísticos de confiabilidade para o novo produto.

#### **2.2.1.2 Conceito**

Os Engenheiros de Projeto formarão o conceito inicial, que resulta de pesquisas e atividades de desenvolvimento realizadas pela área de marketing, relativas à necessidade de novos produtos. Os conceitos devem ser fundamentados nos resultados das pesquisas e, com o apoio e a convicção do Engenheiro de Projeto, um produto novo poderá ser projetado e encontrará o mercado que pague um preço que proverá um lucro atraente para o fabricante.

#### **2.2.1.3 Projeto preliminar**

A preparação dos desenhos de um novo projeto, bem como as especificações, podem ser avaliadas por todas as pessoas envolvidas. A Engenharia da Confiabilidade e a Garantia da Qualidade normalmente serão chamadas como consultores pelos Engenheiros de Projeto para contribuírem com dados e serviços. Estas áreas auxiliam os Engenheiros de Projeto, evitando

e minimizando erros na seleção de peças, componentes, processos industriais, mostrando casos de ações corretivas anteriores em produtos similares.

#### **2.2.1.4 Revisão preliminar de projeto**

Um comitê de revisão de projeto é designado e consiste em representantes das seguintes áreas: Engenharia de Projeto, Engenharia de Confiabilidade, Garantia da Qualidade, Engenharia de Produção e a Coordenação do Projeto. A revisão preliminar é analisada depois da elaboração do projeto, mas antes da construção de qualquer protótipo. O propósito é reunir e analisar o projeto proposto e identificar qualquer problema potencial que possa ser prevenido através de possíveis alterações.

O Engenheiro de Projeto tem autoridade final para decidir sobre o projeto do produto. Garantia da Qualidade, Engenharia da Confiabilidade, Engenharia da Produção e Marketing são os conselheiros. Em algumas companhias, a Engenharia da Confiabilidade pode ter autoridade para aprovação final.

#### **2.2.1.5 Reprojeto**

Os Engenheiros de Projeto usarão os resultados da revisão preliminar de projeto para fazer mudanças no pacote de desenhos e apresentarão isto para uma segunda revisão do mesmo. Este passo pode ser repetido duas ou três vezes até que o projeto seja aprovado para protótipo.

#### **2.2.1.6 Protótipo**

São construídos um ou mais protótipos do projeto, enquanto os técnicos fazem o protótipo para confirmar se todas as especificações estão contempladas.

### **2.2.1.7 Teste de protótipo**

É comum para a Engenharia da Confiabilidade ter responsabilidade por executar testes funcionais, mas a Garantia da Qualidade será responsável por assegurar que as peças e componentes estejam conforme as especificações. Os resultados dos testes são apresentados, então, para uma revisão de projeto de pré-produção. Os mesmos comitês de revisões de projeto revisam novamente.

### **2.2.1.8 Reprojeto**

Em protótipos que normalmente são testados ocorrem falhas, erros, ou mudanças desejáveis. Os protótipos existentes podem ser modificados para testar as "mudanças", e outra revisão de projeto poderá ocorrer. Simultaneamente ao reprojeto, os engenheiros de confiabilidade estarão desenvolvendo o programa de teste de confiabilidade, selecionando e definindo os testes necessários para o equipamento. A Garantia da Qualidade estará desenvolvendo o plano de garantia da qualidade, elaborando o programa de inspeção e obtendo os equipamentos necessários para as verificações. A Engenharia de Produção estará montando as instalações de produção, ferramental e desenvolvendo o plano de produção. Tudo isto acontece em preparação para a próxima fase.

## **2.2.2 Fase de produção**

### **2.2.2.1 Liberação para produção**

Conclusão dos desenhos para produção, especificações, listas de peças, etc.

### **2.2.2.2 Início da produção**

Os protótipos são fabricados sob um controle muito rígido e as primeiras unidades de produção são submetidas à Engenharia da Confiabilidade para "teste de verificação e

validação de produto"; a Garantia da Qualidade realiza a completa inspeção e verificação das especificações.

As unidades de produção são o resultado dos métodos da produção com montadores de linha, peças e componentes de produção. A qualidade de conformidade e a confiabilidade podem ser degradadas pelo processo de produção, a menos que sejam tomadas providências especiais em antecipação a este problema. Mesmo que o pessoal de produção seja treinado com os procedimentos de aceitação inicial e advertidos contra o uso de peças inferiores, materiais e peças artesanais, ainda há o perigo de perda de confiabilidade.

A inspeção e resultados de teste são submetidos ao comitê de revisão de projeto para uma pós-produção. Como resultado desta revisão, poderão ser propostas novas mudanças no projeto, nas especificações e nos processos de produção.

### **2.2.2.3 Mudanças de projeto**

Depois que a produção começou, é necessário que a Garantia de Qualidade estabeleça um sistema de controle de configuração. Este sistema documenta qualquer mudança que seja feita, os números de série de unidades nas quais a mudança ocorreu primeiro e o desenho enumera as especificações nas revisões envolvidas. Este é um procedimento necessário ao longo da vida do produto, de forma que peças sobressalentes, procedimentos de manutenção, possam ser previstos para cada versão específica do produto.

### **2.2.2.4 Produção contínua**

A Engenharia da Confiabilidade e a Garantia da Qualidade continuarão o programa de teste e inspeção como planejado. Serão registrados resultados, e qualquer discrepância será trazida à atenção do gerente de projeto para que ações corretivas sejam iniciadas.

### **2.2.3 Fase de suporte**

#### **2.2.3.1 Entrega do produto**

Quando os clientes começarem a usar o produto, outros problemas inesperados podem surgir. Todos os problemas de funcionamento e falhas nas mãos dos clientes deveriam ser registrados pelo Departamento de Serviços e Suporte e as informações levadas ao gerente do projeto. A Garantia da Qualidade e a Engenharia da Confiabilidade revisarão todos os relatórios e analisarão os dados para identificar causas e propor ações corretivas.

#### **2.2.3.2 Ações corretivas**

Decisão por ação corretiva pode requerer uma revisão de projeto com a aprovação do cliente. Engenharia da Confiabilidade e Garantia da Qualidade monitoram o desenvolvimento da ação corretiva e sua efetivação.

### **2.2.4 Final de vida**

#### **2.2.4.1 Final de vida ou substituição**

Este é o fim do ciclo de vida. Mas todo o conhecimento adquirido durante o projeto, desenvolvimento e marketing dos produtos deverá ser registrado de forma que isto possa ser usado para melhorar o processo para a próxima versão do mesmo produto ou para produtos novos no futuro.

## **2.3 Definição de Termos Segundo a AMSAA (1999)**

Esta seção apresenta o significado de alguns termos que serão utilizados na seqüência deste trabalho.

### **2.3.1 Crescimento da confiabilidade**

O crescimento da confiabilidade é uma melhoria dos parâmetros de confiabilidade em relação às mudanças do projeto de um produto ou de um processo industrial.

### **2.3.2 Gerenciamento do crescimento da confiabilidade**

É o planejamento sistemático para realização do programa de confiabilidade como uma função do tempo e recursos, controlando a taxa contínua de realização por realocação de recursos baseado em avaliações entre os valores planejados de confiabilidade.

### **2.3.3 Conserto**

É a substituição de uma peça ou componente que falhou por outra peça ou componente "idêntico", para devolver ao sistema ou equipamento a sua função normal.

### **2.3.4 Ação corretiva**

Uma ação corretiva resulta em uma mudança do projeto ou do processo industrial do produto, com a finalidade de melhorar sua confiabilidade.

## **2.4 Avaliação**

### **2.4.1 Benefícios do gerenciamento do crescimento da confiabilidade**

Os benefícios descritos a seguir podem ser percebidos pela utilização do gerenciamento do crescimento da confiabilidade.

#### **2.4.1.1 Deficiências imprevistas**

Os protótipos iniciais de um sistema complexo com avanços tecnológicos terão confiabilidade e desempenho que não poderão ser previstos na fase inicial do projeto. Isto também serve para protótipos que "simplesmente" são a integração de sistemas existentes.

#### **2.4.1.2 Projetando melhoria com o surgimento de problemas**

Se alguns problemas potenciais podem ser previstos, suas origens muitas vezes não. Assim, os protótipos devem ser submetidos a um programa de desenvolvimento para demonstrar os problemas que levam à falha, de forma que as melhorias necessárias em projeto do sistema possam ser realizadas. A confiabilidade do sistema e suas características de desempenho dependerão do número e efetividade dessas ações corretivas. A última meta do programa de teste de desenvolvimento é satisfazer a meta de confiabilidade do sistema e as exigências de desempenho.

#### **2.4.1.3 Aumento da probabilidade de alcançar os objetivos**

Isto pode ser alcançado estabelecendo-se metas de confiabilidade intermediárias, que devem ser conhecidas durante o desenvolvimento do programa de testes.

### **2.4.2 Esboço da administração do crescimento da confiabilidade**

A essência da administração do crescimento da confiabilidade consiste em um planejamento, avaliação e controle do processo de crescimento.

#### **2.4.2.1 Plano de crescimento da confiabilidade**

O Plano de Crescimento da Confiabilidade deve contemplar a definição de tempo, quantidade de testes, recursos disponíveis e o alcance das exigências de acordo com a realidade do programa de testes. O planejamento é quantificado e refletido na construção de

uma curva de crescimento da confiabilidade. Esta curva estabelece metas de confiabilidade intermediárias ao longo do programa.

#### **2.4.2.2 Avaliação do crescimento da confiabilidade**

Para o alcance das metas é importante que o coordenador do programa esteja atento aos problemas de confiabilidade durante o decorrer das fases do programa, de forma que ele possa efetuar qualquer mudança necessária como, por exemplo, aumentar a ênfase em confiabilidade. É essencial que avaliações periódicas de confiabilidade sejam feitas durante o programa de testes (normalmente ao término de cada fase de teste), comparando-se os valores de crescimento de confiabilidade com os valores planejados.

#### **2.4.2.3 Controle do crescimento da confiabilidade**

Estas avaliações fornecem visibilidade e focalizam em deficiências enquanto ainda há tempo disponível para mudanças do projeto. Tomando decisões apropriadas a respeito da incorporação de ações corretivas no sistema, com objetivo de atingir as exigências, o coordenador do projeto pode controlar o processo de crescimento da confiabilidade.

### **2.4.3 A função do gerenciamento**

As várias técnicas associadas com o gerenciamento do crescimento da confiabilidade não fazem com que este se auto-administre. Isto simplesmente torna a confiabilidade uma característica mais visível e administrável. Todo nível de administração pode tirar proveito desta visibilidade, solicitando o planejamento do crescimento da confiabilidade e suas revisões. Sem essa implementação, este não pode ser administrado.

O planejamento da curva de crescimento de confiabilidade é formado de objetivos. Isto não requer que a confiabilidade crescerá automaticamente, seguindo estes valores; pelo contrário, estes valores só serão atingidos com a incorporação de ações corretivas. Isto requer atenção da administração e dedicação ao crescimento da confiabilidade. Os métodos nesta dissertação estão com a finalidade de ajudar e gerenciar a tomada de decisões oportunas e



apropriadas para assegurar apoio suficiente da confiabilidade, que requer esforços de projeto ao longo do desenvolvimento do programa de testes.

O gerenciamento do crescimento da confiabilidade é necessário para se ter disponível todas as opções no momento de decisões difíceis. Por exemplo, as decisões nas seguintes áreas podem ser necessárias para assegurar o alcance das metas de confiabilidade:

- Revisão do cronograma do programa;
- Aumento de testes;
- Fundamentar esforços de desenvolvimento;
- Adicionar ou realocar recursos para o programa;
- Parar o programa até que as metas de confiabilidade que foram estabelecidas sejam atingidas.

#### **2.4.4 Atividades básicas de confiabilidade**

O Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade faz parte do processo de Engenharia da Qualidade é complementado por outras atividades do programa de confiabilidade tais como: Predições de Projeto, FMEA e Análise de Estresse.

O Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade fornece maneiras de visualizar todas as atividades do programa de confiabilidade de uma forma integrada.

#### **2.4.5 Processo de crescimento da confiabilidade**

##### **2.4.5.1 Processo básico**

O crescimento da confiabilidade é o resultado de um processo de projeto iterativo. Com o amadurecimento do projeto, há uma investigação para identificar fontes atuais ou potenciais de falhas. Esforços adicionais são gastos nestas áreas com os problemas encontrados e podem ser aplicados ao projeto do produto ou ao processo industrial. O processo iterativo pode ser visualizado como um ciclo de avaliação simples, como aparece

na Figura 1. Isto ilustra que há três elementos essenciais envolvidos para alcançar o crescimento da confiabilidade:

- Detectar Fontes de Falhas;
- Identificar Problemas;
- Re projetar os Problemas identificados

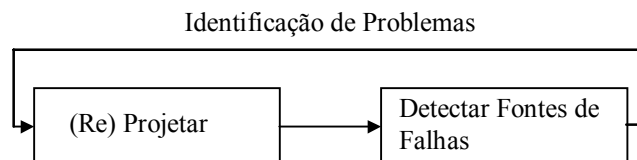


FIGURA 1 - Modelo de Avaliação do Crescimento da Confiabilidade

Além disso, se falhas são descobertas através de testes, um quarto elemento é necessário:

- Fabricação de componentes (para substituição em itens que falharam).

Na seqüência, re projetar as falhas detectadas como:

- Verificação do reprojeto.

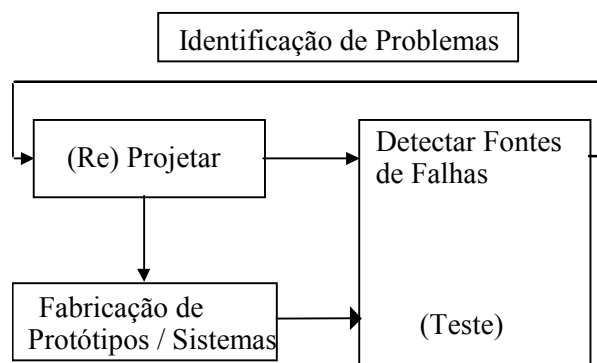


FIGURA 2 - Modelo de Avaliação do Crescimento da Confiabilidade com Fabricação de Componentes para Itens Onde Ocorreram Falhas

#### 2.4.5.2 Taxa de crescimento

A taxa à qual a confiabilidade cresce depende de quão rapidamente pode ser realizada a conclusão das atividades, quão significativa é a identificação dos problemas e quão bem o reprojeto resolve os problemas identificados sem introduzir novos problemas.

Quaisquer destas atividades podem ser um gargalo. A causa e intensidade do gargalo podem variar de um programa de desenvolvimento para outro; e, até mesmo dentro de um único programa, podem variar de uma fase de desenvolvimento para outra.

#### **2.4.6 Gerenciamento do crescimento da confiabilidade no controle de processos**

As Figuras 1, 2 e 3 ilustram a estrutura do processo de crescimento e dos processos de gerenciamento, os quais estão associados. Este tipo de ilustração é usada de forma que as características universais destes processos possam ser encaminhadas. A representação de um programa atual, ou fase de um programa, pode ser detalhada em maior profundidade. Os detalhes podem incluir contribuições específicas para a produção, processo de crescimento, eliminação de atividades adicionais e fluxogramas de lógica de decisão mais explícitos.

##### **2.4.6.1 Métodos básicos**

Há dois modos básicos que o coordenador avalia o processo de crescimento da confiabilidade. O primeiro método contempla utilizar avaliações (avaliações quantitativas do estado de confiabilidade atual) que são baseadas em informações da descoberta de fontes de falhas. O segundo método contempla monitorar as várias atividades no processo para assegurar que as atividades estão sendo realizadas de uma maneira oportuna, e que o nível de esforço e a qualidade do trabalho estão conforme planejamento. Cada um desses métodos complementa o outro no controle do crescimento do processo.

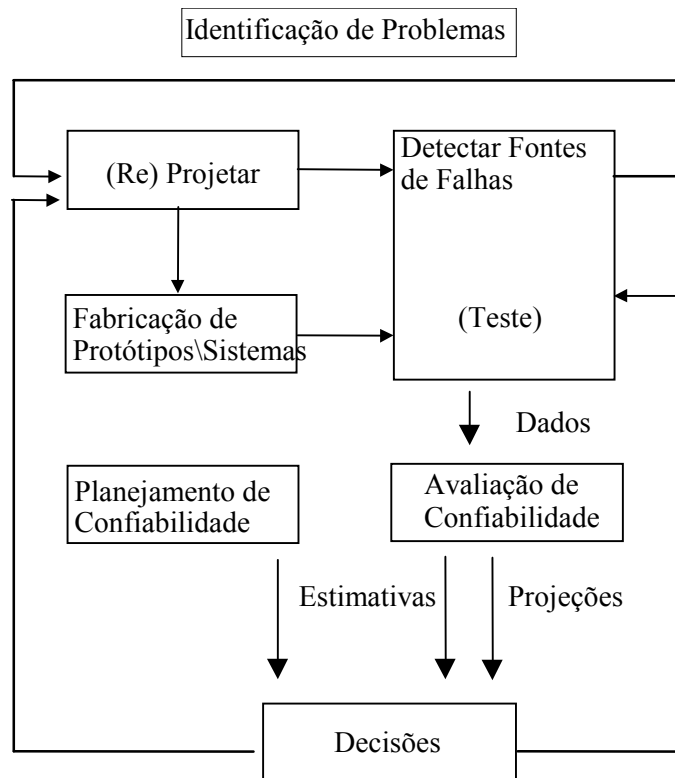


FIGURA 3 - Modelo de Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade (Avaliação)

#### 2.4.6.2 Comparação de métodos

A avaliação da abordagem, é resultado orientado; porém, a abordagem e a atividade orientadas são usadas para completar as avaliações e podem ser completamente confiáveis na fase inicial de um programa. Isso é frequentemente necessário devido à falta de informações objetivas nas fases iniciais de um programa.

#### 2.4.6.3 Avaliação

A Figura 3 ilustra como podem ser usadas as avaliações, controlando o processo de crescimento. O gerenciamento do crescimento da confiabilidade difere do gerenciamento do programa de confiabilidade convencional de duas maneiras principais: primeiro, há um padrão de crescimento ao qual são comparadas as avaliações. Segundo, os métodos de avaliação usados podem fornecer avaliações mais precisas da confiabilidade do sistema. Uma comparação entre a avaliação e o valor planejado indicará se o programa está progredindo como planejado ou não. Se o progresso está decaindo, deveriam ser desenvolvidas estratégias novas e rápidas. Estas podem envolver a realocação de recursos para trabalhar em áreas com

problemas identificados ou podem resultar em ajuste do prazo. A Figura 4 ilustra um exemplo do crescimento de confiabilidade planejado e suas avaliações.

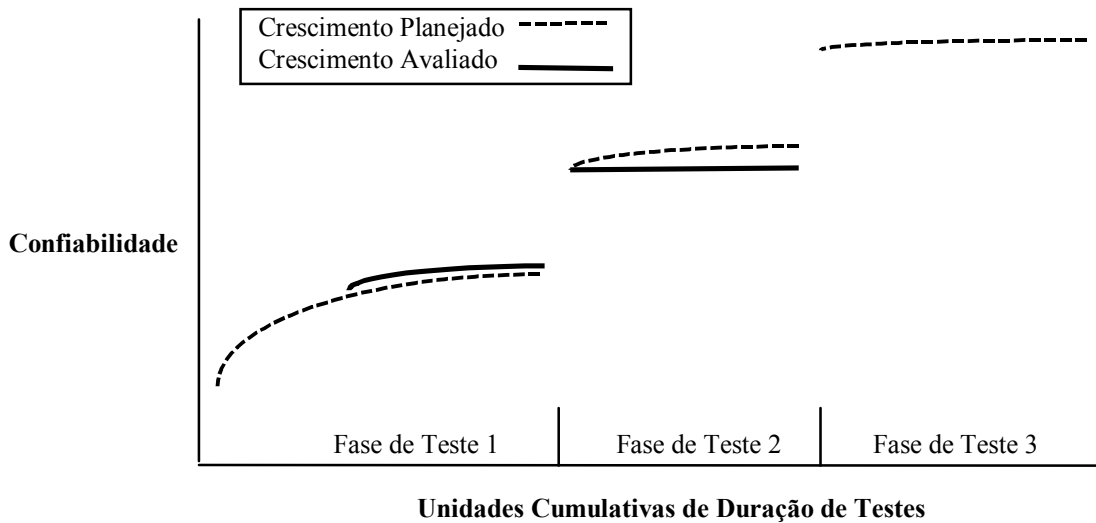


FIGURA 4 - Exemplo do Planejamento do Crescimento da Confiabilidade e Avaliações

#### 2.4.6.4 Monitoramento

A Figura 5 ilustra o controle do processo de crescimento da confiabilidade. Não há nenhum modo simples para avaliar o desempenho das atividades envolvidas. O gerenciamento é baseado no monitoramento e é menos definido que o gerenciamento baseado em avaliações. Não obstante, esta atividade é um valioso complemento das avaliações de confiabilidade para uma abordagem do gerenciamento do crescimento da confiabilidade. Padrões para níveis de esforço e qualidade de realização de trabalho devem necessariamente confiar no julgamento técnico do avaliador. É pretendido que o monitoramento assegure que as atividades foram executadas dentro do período e são satisfatórias e apropriadas. Não é aceito “eu acho” do projetista, por exemplo. Um dos melhores exemplos de uma atividade de monitoramento é a revisão de projeto. Esta, por sua vez, é um monitoramento planejado de um projeto de produto para assegurar que satisfará as exigências de desempenho durante o uso operacional. Tal revisão serve para determinar o progresso que se está tendo para atingir os objetivos. Talvez o aspecto mais significativo da revisão de projeto é a sua ênfase no julgamento técnico, além de avaliações quantitativas do progresso.

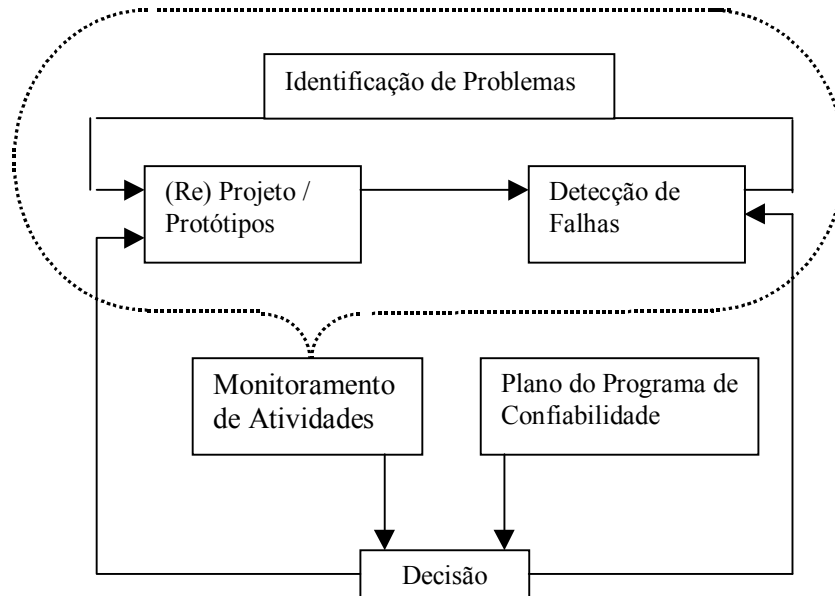


FIGURA 5 - Modelo do Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade (Monitorado)

#### 2.4.7 Fatores que influenciam forma da curva de crescimento

Fatores tais como a fase atual do programa de desenvolvimento, a fase de teste atual, a configuração do sistema do teste, o cronograma da inclusão de modificações do projeto e a duração dos testes influenciam a forma da curva de crescimento.

##### 2.4.7.1 Fases do programa de desenvolvimento

Geralmente, qualquer programa de desenvolvimento de sistema é dividido em fases, as quais têm objetivos diferentes em cada uma. Os nomes e objetivos para cada fase de um determinado programa de desenvolvimento provavelmente não serão os mesmos mencionados aqui, mas seguem um modelo típico de desenvolvimento:

- **Proposta:** Não há nenhum hardware nesta fase; é a análise de engenharia e custos, de diferir soluções e propostas de projetos. Nesta fase a preocupação é com as exigências que poderão ser alcançadas e, nesse caso, como estimar os custos?
- **Conceitual:** Nesta fase, são construídos protótipos experimentais. Estes podem ter pouca semelhança ao sistema atual. Eles são destinados à prova de conceito.

- **Validação:** Após a definição do conceito, são construídos protótipos e estes são testados. Esta fase tenta alcançar o desempenho e objetivos de confiabilidade para o sistema.
- **Desenvolvimento Completo:** Os sistemas são fabricados em nível de produção e são testados para verificar os últimos detalhes de projeto e procedimentos de manufatura.

O Gerenciamento quantitativo do crescimento da confiabilidade pode ser usado durante a validação e desenvolvimento completo do programa. Poderiam ser discutidas quais diferenças do andamento de testes nestas fases alterariam as taxas de crescimento, quão diferentes os tipos de testes são determinados e como eles serão tratados para criar uma curva de crescimento da confiabilidade.

#### **2.4.7.2 Fases de teste**

Dentro da fase de desenvolvimento, é bastante provável que os testes sejam interrompidos, aumentando assim o período de teste. Cada período pode ser visto como uma fase. Também, dentro de uma fase de desenvolvimento, é bastante provável que mais de um tipo de teste aconteça (por exemplo, teste de desempenho). Se estes outros testes, que especificamente não são para confiabilidade, mas seguem o ambiente operacional, então podem ser incorporadas no banco de dados as informações coletadas referentes ao crescimento da confiabilidade. Essa também seria chamada de fase de crescimento de confiabilidade. Será esperado que a confiabilidade cresça de uma fase para outra. A curva do crescimento da confiabilidade deve refletir isto.

#### **2.4.7.3 Configurações de sistemas**

Em um senso absoluto, qualquer mudança de projeto constitui uma nova configuração. Para este propósito, teremos um projeto específico para uma configuração nova, se houver uma mudança significativa, ou muitas mudanças pequenas no projeto, que causem uma taxa de falha diferente para o sistema. É possível que dois ou mais tipos de falha possam ser agrupados nas fases de testes para análise, baseadas na configuração testada nestas fases

que estão substancialmente inalteradas. Também é possível que as revisões de projeto seja tão efetiva quanto o crescimento da confiabilidade que uma configuração nova possa ter dentro de uma fase de teste. Também podem ser tomadas decisões sobre configurações de sistema com base em julgamentos. Obviamente, a configuração em teste tem grande influência na curva de crescimento.

#### 2.4.7.4 Tempo para conserto

A substituição de uma peça por outra idêntica é considerada como uma atividade de manutenção. Substituindo ou eliminando uma peça devido a uma mudança de projeto é considerado um conserto. A intenção dos consertos é reduzir a taxa de falhas do sistema. Manutenções não fazem nenhuma mudança na taxa de falhas do sistema. O tempo de inserção de um conserto afeta o padrão de crescimento de confiabilidade.

##### 2.4.7.4.1 Test – Fix – Test

Em um programa de *test – fix – test* (Testar – Consertar – Testar), quando uma falha é observada durante o teste, o mesmo é interrompido até que a mudança de projeto seja implementada ao sistema. Quando o teste for retomado, este estará com um incremento de confiabilidade. O gráfico de confiabilidade para esta estratégia de teste é uma série de passos crescentes e pequenos, com cada intervalo de tempo mais longo entre falhas. O gráfico pode ser representado por uma curva, conforme ilustrado na Figura 6.

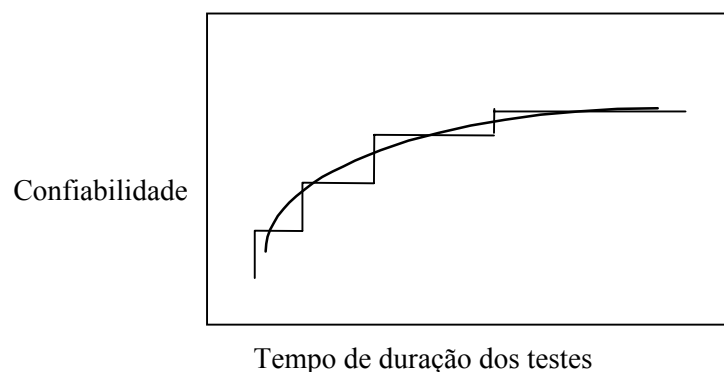


FIGURA 6 – Gráfico Típico de Programa de Confiabilidade: *Test – Fix – Test*



Um programa que utiliza o processo de *Test – Fix – Test* não é prático na maioria das situações. É provável que algumas melhorias sejam implementadas mais tarde. Não obstante, se são implementadas as ações corretivas o mais cedo possível, e enquanto o teste ainda estiver em andamento, o passo do degrau assim com o aumento da confiabilidade fará com que a forma da curva e os degraus, se aproximem., mas subirá a uma taxa mais lenta. Isto é devido a confiabilidade, que permanece no mesmo nível que era quando a falha aconteceu, até que a ação corretiva seja implementada. Assim, os passos vão tendo um comprimento mais longo, mas a mesma altura. Continuando os testes depois que a ação corretiva foi implementada, eles servirão para verificar a melhoria da mudança do projeto.

#### 2.4.7.4.2 Test – Find – Test

Durante um programa de *Test – Find – Test* (Testar – Achar – Testar), o sistema é testado também para determinar modos de falhas. Porém, é diferente do programa de *Test – Fix – Test* porque as ações corretivas não são implementadas no sistema durante a fase de teste. No entanto, as ações corretivas são todas implementadas no sistema ao término daquela fase e antes do próximo período de testes. Como um número grande de ações corretivas geralmente será implementado ao mesmo tempo no sistema, normalmente há um salto significativo na confiabilidade do sistema ao término da fase de teste (ver Figura 7). As ações corretivas implementadas no sistema entre fases de teste são chamadas ações corretivas atrasadas.

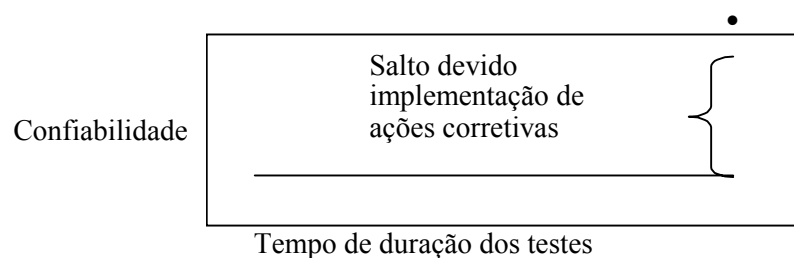


FIGURA 7 - Gráfico do Programa de Confiabilidade: *Test – Find – Test*

#### 2.4.7.4.3 Test – Fix – Test com ações corretivas atrasadas

O programa de teste geralmente usado durante o desenvolvimento, testa uma combinação dos dois tipos de implementação de ações corretivas discutido acima. Neste caso,

um pouco das ações corretivas são implementadas no sistema durante o período de teste, enquanto outras estão atrasadas e serão implementadas no final desta fase. Por conseguinte, a confiabilidade do sistema geralmente será vista como um processo crescente durante a fase de teste e no final terá um salto devido a implementação de ações corretivas atrasadas, conforme ilustrado na Figura 8.

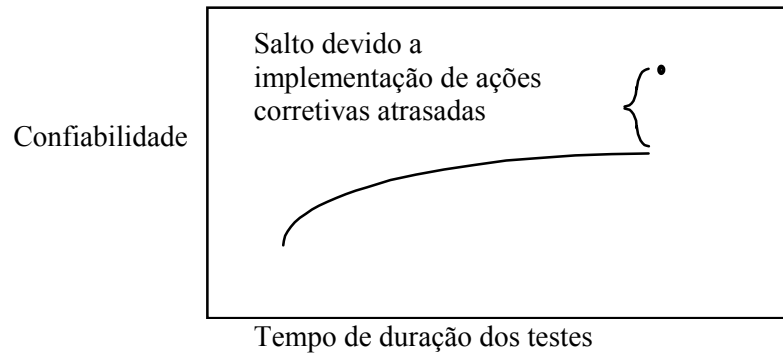


FIGURA 8 - Gráfico de um Programa de Confiabilidade: *Test – Find – Test* com Ações Corretivas Atrasadas

Há algumas pequenas vantagens estatísticas distintas em um programa de *test-fix-test* completo:

- O valor calculado da confiabilidade em qualquer ponto ao longo da curva de crescimento é um valor instantâneo. Quer dizer, não é o cálculo da média das falhas provenientes de testes anteriores com configurações menos maduras.
- Limite de confiança em torno do verdadeiro valor de confiabilidade pode ser estabelecido.
- Enquanto o impacto dos saltos em confiabilidade que usa julgamento de engenharia pode ser avaliado a cálculo direto, a estimativa de confiabilidade em um programa de *test-fix-test* é somente baseada em dados.
- Em um programa de *test-fix-test*, estão sendo avaliadas as melhorias das mudanças de projeto continuamente.

### 2.4.7.5 Mudanças de forma devido ao cronograma

O crescimento da confiabilidade é descrito freqüentemente como uma função do tempo de teste para os propósitos de avaliação. Para o gerenciamento e apresentação, pode ser desejável retratar o crescimento da confiabilidade como uma função de tempo. Isto pode ser realizado determinando o número de unidades de duração de teste que terão sido completadas a cada ponto de medida de tempo no cronograma; então, plota-se o valor correspondente à duração de teste completado sobre aquele ponto do cronograma. Esta é uma função direta do tempo do programa. A Figura 9 mostra o crescimento da confiabilidade de um sistema como uma função do tempo de teste e mudança do cronograma.

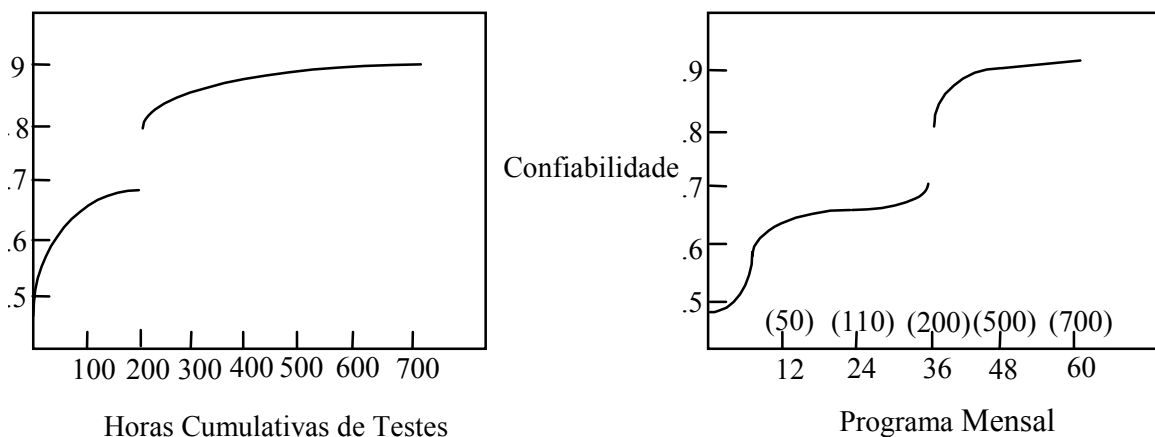


FIGURA 9 - Comparação das Curvas de Crescimento de Confiabilidade baseado na Duração do Teste Vs Tempo

### 2.4.8 Conceitos de crescimento da confiabilidade

#### 2.4.8.1 Níveis de consideração para crescimento da confiabilidade

O Planejamento e Controle do Crescimento da Confiabilidade podem ser divididos quanto a níveis de consideração ao longo de ambos programas de teste.

Considerações do Programa:

- Global: Esta aproximação trata o crescimento da confiabilidade em uma base única sob todo o programa de desenvolvimento.

- Local: A outra aproximação trata o crescimento da confiabilidade em uma base de fase a fase.

Sob considerações de Teste:

- No Nível de Sistema: Todo o sistema é fielmente testado conforme o planejamento.
- No Nível de Subsistema: O significado óbvio é o teste de componentes especializados e razoavelmente complexos de um sistema completo (por exemplo, um motor de um veículo). Às vezes, o subsistema parece ser uma unidade autônoma porque a exigência é para esta unidade operar junto com outras, para alcançar uma meta funcional global que seja realmente parte do "sistema" (por exemplo, o radar em um sistema de defesa aéreo).

O nível apropriado de consideração pode ser diferente a tempos diferentes dentro do desenvolvimento.

#### **2.4.8.2 Análise de programas anteriores**

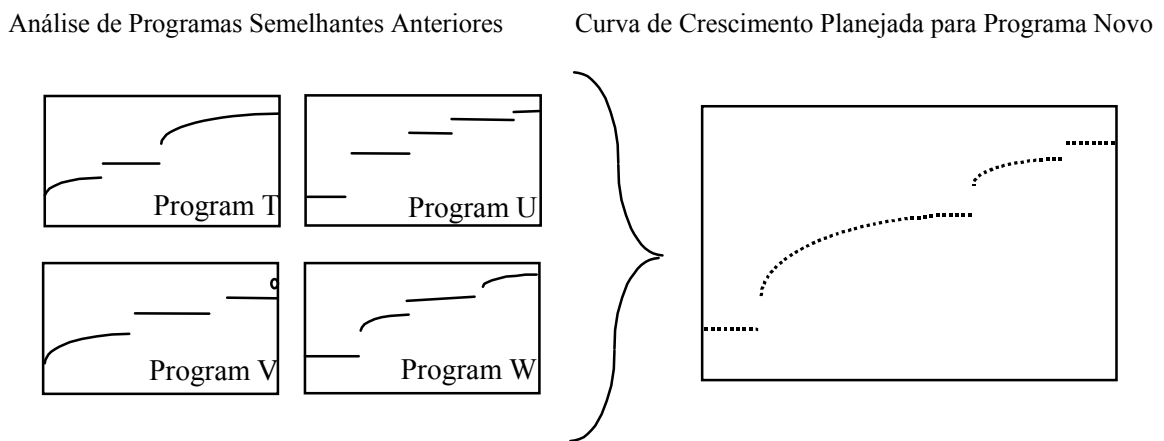
A análise de programas anteriores e semelhantes é usada para desenvolver diretrizes para prever o crescimento durante programas futuros. Tal análise pode ser executada em programas globais, fases de programas individuais ou ambos. Os padrões de crescimento observados, o efeito de características do programa, e as taxas de crescimento são de interesse particular.

#### **2.4.9 Planejamento**

##### **2.4.9.1 Planejamento da curva de crescimento**

O Planejamento da Curva de Crescimento é um quadro do crescimento da confiabilidade antecipado para o todo o programa. É uma parte essencial da metodologia do

gerenciamento do crescimento da confiabilidade e é importante para qualquer programa da área. Esta curva é construída geralmente no início programa de desenvolvimento, antes de dados de confiabilidade serem adquiridos nos testes. Seu propósito inicial é proporcionar ao gerenciamento das diretrizes que confiabilidade pode ser esperada em qualquer fase e fornecer uma base para avaliar o progresso atual do programa de confiabilidade em dados gerados. A curva de crescimento planejada pode ser construída em uma base de fase a fase. Veja Figura 10.



**Determinação do padrão e características de fase que influenciam curvas de crescimento**

FIGURA 10 - Desenvolvimento da Curva de Crescimento Planejada em uma Fase por Fase

#### 2.4.9.2 Curva de crescimento idealizada

Uma Curva de Crescimento Idealizada é uma curva de crescimento planejada que consiste em uma única curva baseada em condições iniciais, a uma taxa de crescimento assumida, com estratégia de gerenciamento planejada. Esta curva é uma função matemática rígida dos parâmetros de contribuição do outro lado da medida de duração de teste (por exemplo, tempo, distância, tentativas), por isso o nome "Idealizada". Pode ser esperado que nenhum programa assumira esta forma matemática exata, mas é útil para estabelecer metas intermediárias (ver Figura 11).

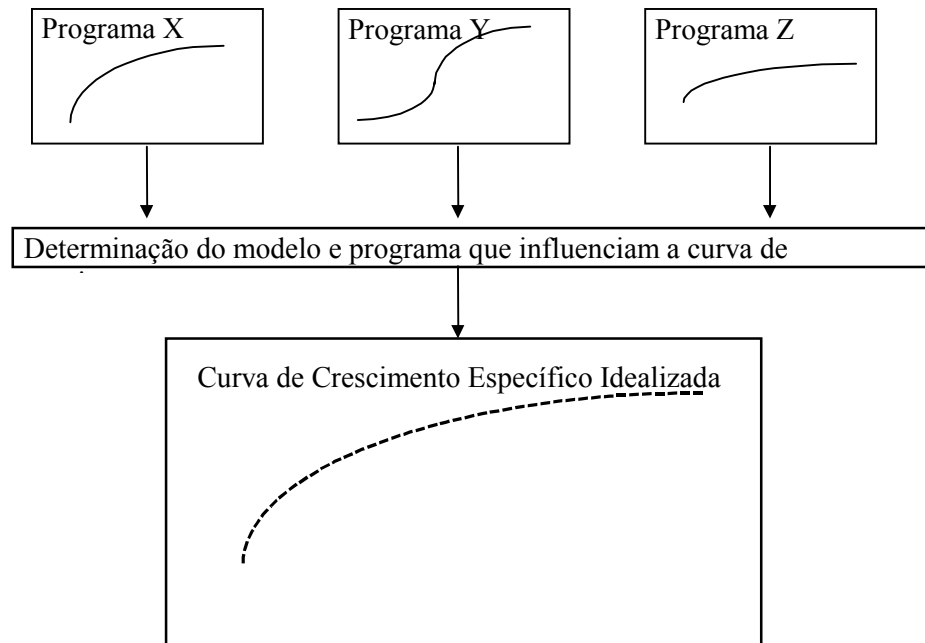


FIGURA 11 - Determinação de Análise global de Curva de Crescimento Planejada

## 2.4.10 Rastrear eventos

### 2.4.10.1 Confiabilidade demonstrada

Um valor de confiabilidade demonstrado está baseado em dados de teste atuais e é uma estimativa do alcance da confiabilidade. A avaliação é feita na configuração do sistema que está sendo testado atualmente. Este número permite avaliar os efeitos de ações corretivas recentemente implementadas no sistema; com o seu cálculo, incorporam a tendência de crescimento estabelecida em cima do histórico do programa de desenvolvimento.

### 2.4.10.2 Crescimento da confiabilidade de curva rastreada

O crescimento da confiabilidade de curva rastreada é a que melhor ajusta os dados que são analisados. Pode estar baseado em dados de uma fase ou de várias fases. Qualquer período de teste é usado para formar um banco de dados; esta curva é a melhor representação estatística de uma família de curvas de crescimento da confiabilidade global do sistema. Ela descreve a tendência de crescimento que foi estabelecida a partir dos resultados que estão no

banco de dados. Assim, se o banco de dados cobrir o programa inteiro, o ponto final desta curva demonstra a atual confiabilidade, conforme ilustrado na Figura 12.

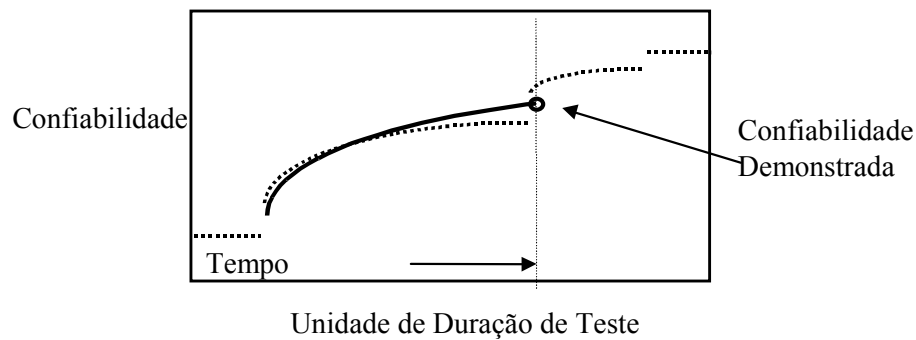


FIGURA 12 - Crescimento da Confiabilidade com Curva Rastreada

## 2.4.11 Projeção

### 2.4.11.1 Confiabilidade extrapolada

Extrapolando uma curva de crescimento além dos dados atuais disponíveis, a confiabilidade final pode ser estimada em função da duração de testes adicionais; no entanto; esta estimativa será realista apenas se forem mantidas as condições de teste e o esforço de engenharia para melhorar a confiabilidade.

### 2.4.11.2 Confiabilidade projetada

Uma projeção da confiabilidade é uma avaliação que pode se antecipar a algum ponto futuro de confiabilidade, a ser verificado no programa de desenvolvimento. A projeção está baseada no cumprimento dos prazos e das avaliações de projeto para as características dos programas futuros. A projeção é uma valiosa ferramenta de análise quando um programa estiver implementando ações corretivas.

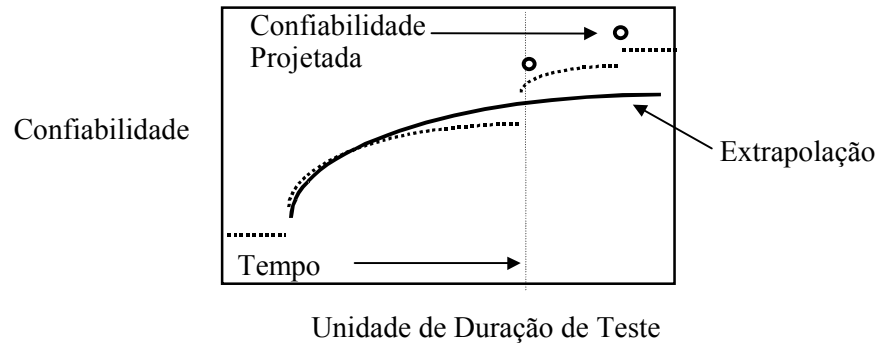


FIGURA 13 - Confiabilidade Projetada e Extrapolada

As figuras 1 à 13 tem sua fonte no AMSAA RELIABILITY GROWTH HANDBOOK – 1999.

## 2.5 Atividades do Engenheiro da Confiabilidade

Segundo Ireson e Combs (1988), há uma série de atividades as quais são atribuídas normalmente ao engenheiro da confiabilidade. Estas atividades são consideradas no desenvolvimento de um programa de confiabilidade para consolidar todas as etapas exigidas na administração do programa.

1. Estimar a confiabilidade, previsão e seu plano de crescimento
2. Participar em todas as revisões de projeto
3. Partilhamento da confiabilidade
4. Planejamento e administração dos testes de confiabilidade
5. Realizar a análise estatística dos dados obtidos nos testes
6. Manutenção do sistema de dados de confiabilidade
7. Dar suporte para:
  - a. Manufatura
  - b. Qualidade
  - c. Suprimentos
8. Definir as especificações de confiabilidade para itens comprados
9. Identificar as causas de degradação da confiabilidade



Para cada uma destas funções há uma breve descrição a seguir:

### **2.5.1 Estimar a confiabilidade, Previsão, e plano de crescimento**

O engenheiro da confiabilidade deve usar as informações obtidas dos registros de testes sobre a confiabilidade dos componentes em cada fase para calcular a confiabilidade. Os testes normalmente mostram que a confiabilidade inicial calculada não é atingida e é necessário analisar o que acontecerá, se ocorrerão mudanças de projeto ou não. Além disso, há uma "curva de aprendizagem" relativa à confiabilidade. Há necessidade de um plano com metas de crescimento de confiabilidade para o sistema e este plano deve considerar o tempo e o número de sistemas produzidos. Os resultados de teste são comparados com as metas para tomar decisões relativas a ações corretivas.

### **2.5.2 Participar em todas as revisões de projeto**

Os participantes da revisão de projeto têm a oportunidade de avaliar e apresentar seus diferentes pontos de vista. Se os engenheiros de projeto tentam obter contribuição relativa a um projeto, reunidos com confiabilidade, qualidade, engenheiros de produção, cliente ou departamentos de marketing, um de cada vez, não há nenhuma chance de as falhas serem solucionadas satisfatoriamente. Cada representante tem certo conhecimento sobre as conseqüências de confiabilidade que devem ser discutidas entre todos os envolvidos. A oportunidade para apresentar todas as considerações de confiabilidade na fase de projeto pode economizar grandes quantias de tempo e dinheiro.

### **2.5.3 Partilhamento da confiabilidade**

A confiabilidade do sistema está basicamente para o produto das confiabilidades das partes individuais. É mais fácil atingir alta confiabilidade em alguns tipos de peças do que em outros, pois as exigências das especificações para as diferentes peças deveriam considerar o grau de facilidade, para que sejam fixadas exigências mais baixas para peças complexas ou

componentes. Esta distribuição da confiabilidade total entre peças e componentes diferentes é conhecida como partilhamento, e normalmente é tarefa da engenharia de confiabilidade.

#### **2.5.4 Planejamento e administração dos testes de confiabilidade**

A maioria dos equipamentos servem para pesquisa como também para testes de confiabilidade, evitando a duplicação econômica de investimento. Os engenheiros de confiabilidade são os especialistas para criar procedimentos de teste e critérios de exigência para os equipamentos.

#### **2.5.5 Realizar a análise estatística dos dados obtidos nos testes**

O engenheiro de confiabilidade é preparado para interpretar os resultados de testes e apresentar os resultados aos gerentes e engenheiros de projeto, trabalhando direto na execução dos cálculos para prever confiabilidade de um projeto.

#### **2.5.6 Manutenção do sistema de dados de confiabilidade**

Ao longo do ciclo de vida do produto, estão sendo armazenadas informações de confiabilidade e devem ser mantidas de uma forma que possa ser usada na administração de um programa. Desde que o engenheiro de confiabilidade tenha que avaliar e analisar a informação para fazer sugestões de mudanças em projetos, procedimentos, processo, etc., a informação normalmente é de responsabilidade da confiabilidade.

#### **2.5.7 Dar suporte para: produção, qualidade e materiais comprados**

Participar das atividades, orientando para que durante o projeto sejam verificadas as informações e as ações necessárias.

### **2.5.8 Definir as especificações de confiabilidade para itens comprados**

A confiabilidade de todas as peças, materiais, componentes, etc., influenciam a confiabilidade global do produto final. Materiais desconhecidos podem prejudicar a performance de um produto e o engenheiro de confiabilidade é quem deve entender o que deve ser incluído nas especificações.

### **2.5.9 Identificar as causas de degradação da confiabilidade**

Degradação pode acontecer por causa de peças ruins, controle de processo impróprio, estampagem inadequada, manuseio, e muitas outras causas. O engenheiro de confiabilidade tem que fazer julgamentos baseado em informações da qualidade, confiabilidade e testes de campo, indicando a ação corretiva apropriada.

## **CAPÍTULO 3**

### **MODELO DE GERENCIAMENTO DO CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE: A ABORDAGEM DA JOHN DEERE**

#### **3.1 Processo de Desenvolvimento de Produto**

Cada empresa desenvolve seu próprio programa de confiabilidade de acordo com as necessidades e características dos produtos que produz. As fábricas que possuem várias divisões de produtos, com diferentes complexidades, geralmente desenvolvem planos de confiabilidade diferentes para cada linha de produtos.

A confiabilidade é uma ferramenta de fundamental importância dentro do desenvolvimento de novos produtos e na monitoração dos produtos atuais. Desta maneira, o Processo de Desenvolvimento de Produtos que a John Deere utiliza possui ferramentas específicas para o gerenciamento da confiabilidade, bem definidas em suas respectivas fases.

Na empresa em estudo, o Processo de Desenvolvimento de Produto, chamado de PDP, é composto de seis fases distintas:

- Elaboração do Planejamento Estratégico de Produto;
- Definição do Programa;
- Avaliação e Seleção do Conceito;
- Desenvolvimento do Programa;
- Confirmação e Implementação;
- Produção e Melhoria Contínua.

O Processo de Desenvolvimento de Produto utilizado atualmente na empresa em estudo pode ser visualizado conforme o diagrama que aparece na Figura 14. Esse diagrama mostra as seis fases mencionadas, sua seqüência lógica e o relacionamento entre as mesmas.

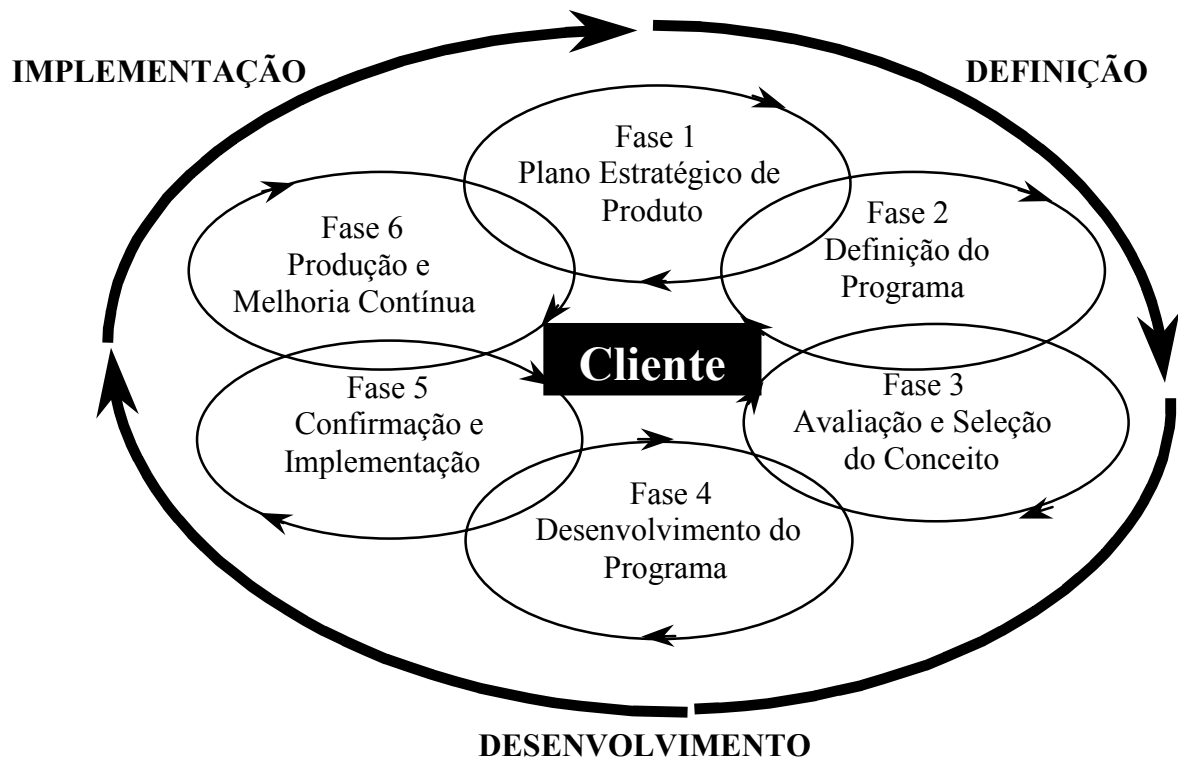


FIGURA 14 - Diagrama do Processo de Desenvolvimento de Produto

Uma das dimensões importantes no desenvolvimento do produto é o crescimento da sua confiabilidade. Para facilitar a utilização de técnicas de gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade, que serão apresentadas nas seções subseqüentes, o Departamento da Qualidade da John Deere utiliza o *software* Reliability Growth Management (RGM), ou seja, um aplicativo para Gerenciar o Crescimento da Confiabilidade no desenvolvimento de novos produtos. Este aplicativo está organizado em quatro módulos: Previsão da Confiabilidade, Teste e Planejamento do Crescimento da Confiabilidade, Modelagem do Crescimento da Confiabilidade e Análise de Sistemas Reparáveis.

### 3.2 Etapas do Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade

Com a avaliação de vários programas de novos produtos, identificou-se dois fatores principais, os quais prejudicam a habilidade de encontrar as demandas para diminuir o ciclo de produção, redução de custos e aumento da confiabilidade. Um deles é a baixa confiabilidade inicial de protótipos, observada no começo do desenvolvimento dos testes, e a

outra é o pequeno crescimento da confiabilidade também durante o desenvolvimento dos testes.

Estas dificuldades, ou seja, a baixa confiabilidade inicial e o pequeno crescimento da confiabilidade durante o desenvolvimento dos testes, podem ser superadas pelo uso de técnicas avançadas de gerenciamento do crescimento da confiabilidade a serem utilizadas no início do Processo de Desenvolvimento de Produto, como pode ser observado na Figura 15.

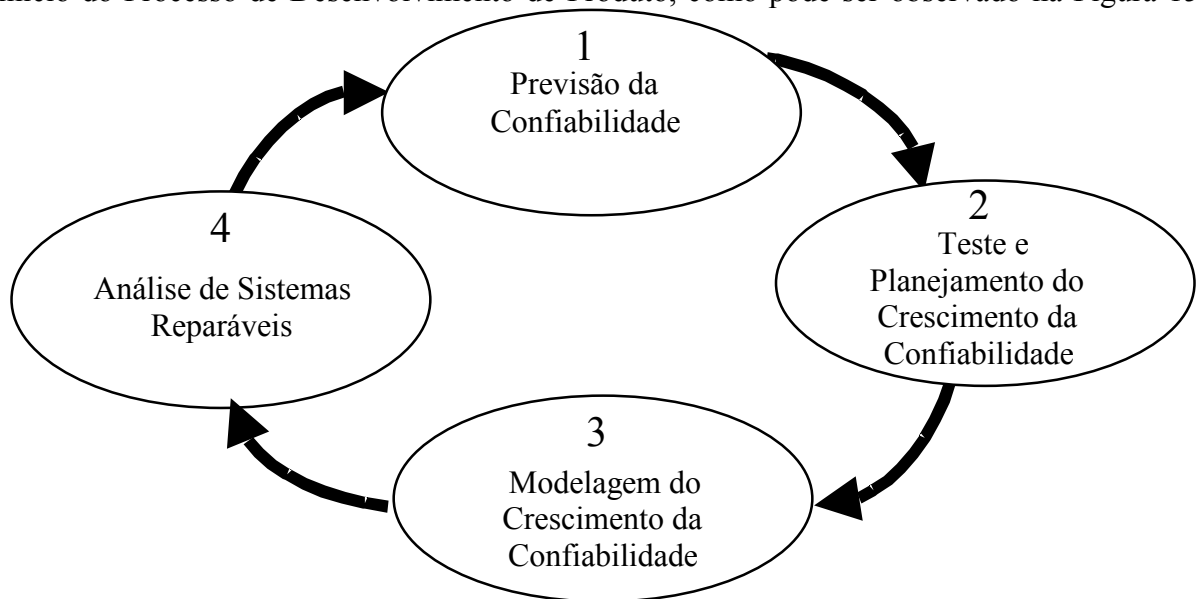


FIGURA 15 - Etapas do Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade

### 3.3 A relação entre o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) e o Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade

A integração das quatro etapas do gerenciamento do crescimento da confiabilidade com as seis fases do processo de desenvolvimento de produto – PDP, é apresentada conforme o diagrama apresentado na Figura 16. Esse diagrama mostra que as etapas do gerenciamento do crescimento da confiabilidade devem ser utilizadas num momento específico, em que as atividades do processo de desenvolvimento de produto são mais propícias, por exemplo: a Previsão da confiabilidade deve ser elaborada no início da fase 3 do PDP. No final da fase 3 e início da fase 4 o teste e planejamento do crescimento da confiabilidade devem estar prontos antes que os primeiros protótipos sigam para o início dos testes. Com o acompanhamento dos testes, no desenvolvimento do programa, acompanha-se a modelagem da curva de crescimento da confiabilidade e durante a confirmação e implementação de programas de novos produtos, realiza-se a análise de sistemas reparáveis. Esta análise de sistemas reparáveis pode ser realizada na fase seis do PDP, durante a fase de produção, em que são

rastreadas algumas máquinas de clientes. Da mesma forma pode-se também, durante a fase quatro do PDP, realizar análises com dados parciais de testes de campo e projetar a confiabilidade com as tendências das falhas ocorridas durante aquele período. É importante que as ferramentas de gerenciamento do crescimento da confiabilidade estejam dentro do PDP, pois o seu desenvolvimento está relacionado com cada fase durante o desenvolvimento dos novos produtos tais como: na fase de planejamento para que tenha um programa consistente com o número de equipamentos e o tempo que deverão ser submetidos aos testes, na fase de desenvolvimento, a coleta de informações para a análise e a definição de ações corretivas, e assim sucessivamente até a análise dos dados coletados para a confirmação e implementação do projeto. Além disso, é recomendado que as ferramentas da confiabilidade sejam usadas tão cedo quanto possível, conforme indicado na Figura 3.3, pois se problemas forem detectados haverá tempo hábil para a implementar soluções sem que atrasos prejudiquem o lançamento do novo projeto.

Estas ferramentas da confiabilidade foram introduzidas no Processo de PDP da empresa em estudo, durante o desenvolvimento de um novo produto que será apresentado no capítulo 4.

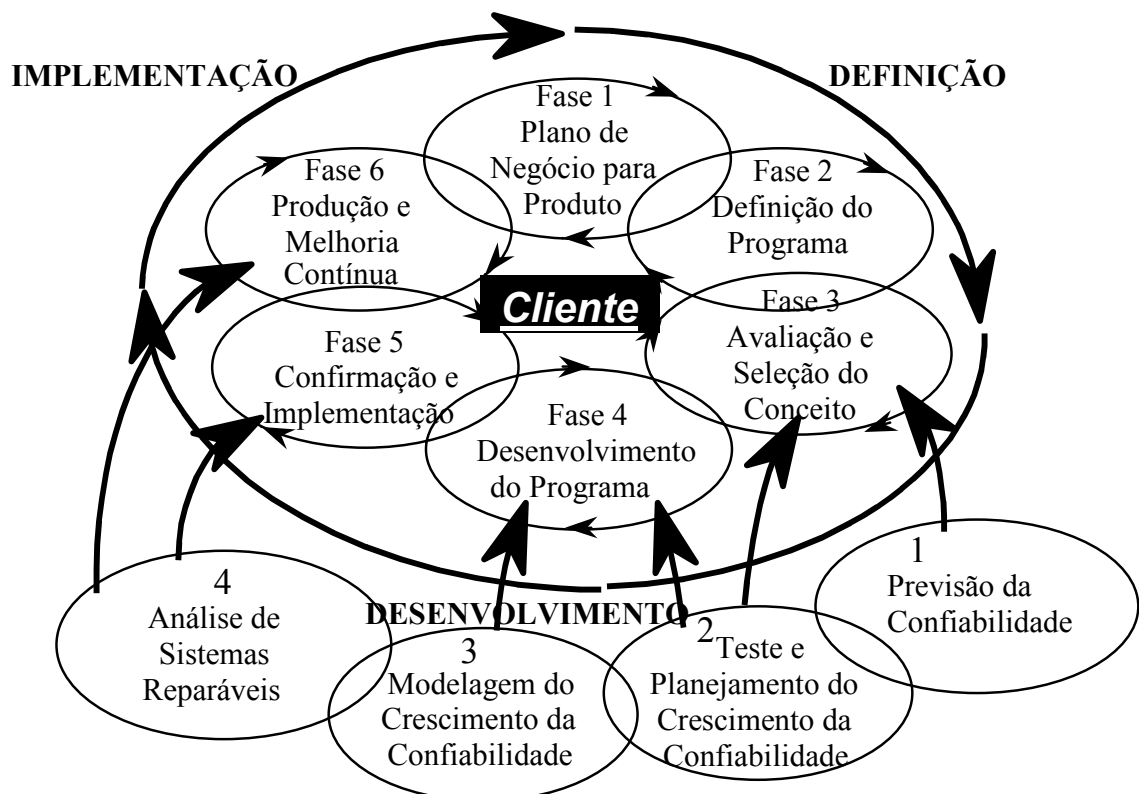


FIGURA 16 - Processo PDP & as Etapas do Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade

### 3.4 Fases do Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade

As quatro etapas do gerenciamento do crescimento da confiabilidade podem ser divididas em ferramentas para Planejamento e Análise de Dados.

As duas primeiras etapas, Previsão de confiabilidade e planejamento de teste do crescimento da confiabilidade, são utilizadas nas primeiras fases do PDP, onde há necessidade de elaborar um bom planejamento. A modelagem do crescimento da confiabilidade e a análise dos dados se apresenta nas fases finais do PDP, onde servem como diagnóstico para liberar a introdução de um novo produto no mercado. A divisão dos módulos está apresentada na Figura 17.

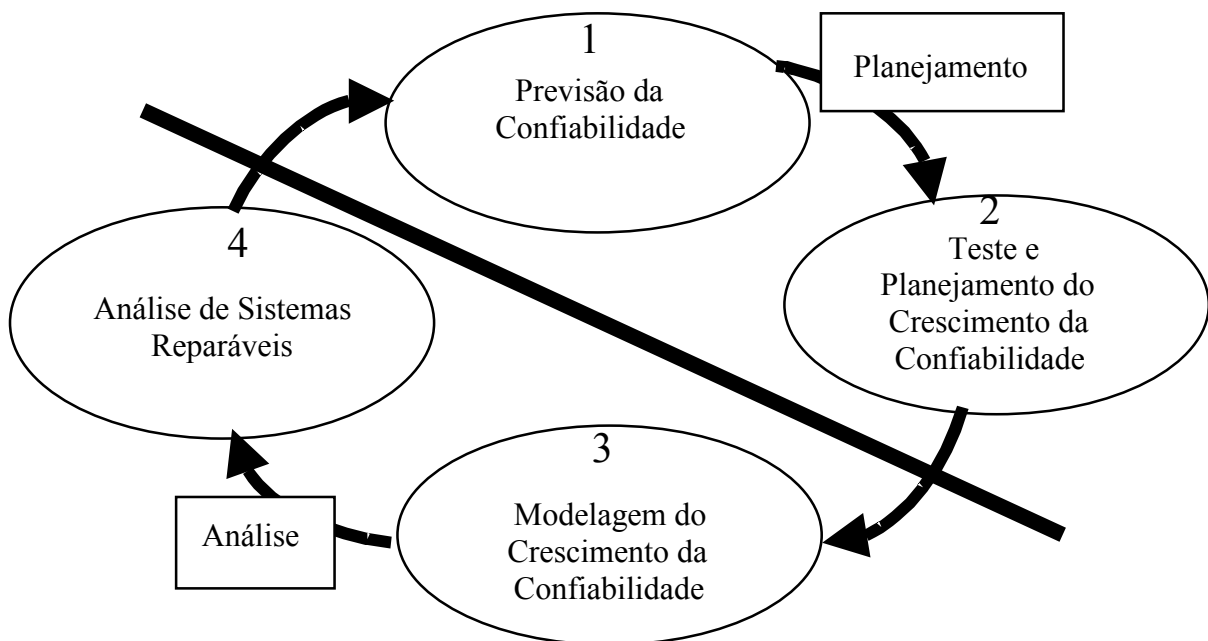


FIGURA 17 - Divisão das Etapas do Gerenciamento do Crescimento da Confiabilidade

#### 3.4.1 Fase de planejamento

Na fase de planejamento, verificada no início do PDP, duas etapas importantes auxiliam no planejamento do gerenciamento do crescimento da confiabilidade. A Previsão e o planejamento dos testes de crescimento da confiabilidade.



### 3.4.1.1 Previsão da confiabilidade

A Previsão da confiabilidade é o processo quantitativo de estimar a confiabilidade inerente de um sistema, isto é, a confiabilidade que é determinada por ser tecnicamente atingível em um projeto dentro de suas metas de custo e tempo. A confiabilidade inerente é um valor razoável que se espera alcançar em um sistema quando este estiver maduro. O processo da Previsão da confiabilidade deve ser usado no início da fase de avaliação do conceito. A metodologia da Previsão da confiabilidade que a empresa em estudo utiliza, suporta um processo interativo entre projeto e desenvolvimento. Este processo envolve os seguintes aspectos: detecção de problemas potenciais da confiabilidade, *feedback* referente aos problemas potenciais e reprojeto baseado nos problemas identificados. Este processo é eficaz quando aplicado nos estágios iniciais do projeto de novos produtos, O processo da Previsão de confiabilidade da John Deere é uma ferramenta que ajuda no projeto e no desenvolvimento de novas máquinas; facilita estabelecer níveis inerentes e iniciais de confiabilidade de projetos novos nas fases iniciais, em que os dados de falha ainda não estão disponíveis. O método usado para prever a confiabilidade inerente do sistema considera modos de falhas críticas, resistência dos materiais e análise de estresse em componente. Este método de análise também permite uma Previsão de taxas de falhas de componentes. Uma vez que as taxas de falhas dos componentes são conhecidas, a confiabilidade inerente para o novo produto pode ser determinada.

Baseado em dados de produtos similares - tais como as informações de garantia de um produto atual - no conhecimento, na experiência e no julgamento dos especialistas, a confiabilidade inerente do novo projeto é avaliada e comparada ao objetivo. O nível satisfatório da confiabilidade inerente do sistema, apesar das variações no processo da Previsão, recomenda-se que seja ao menos 25% acima do objetivo requerido, pois, no início, com a introdução de um novo produto, é natural que a confiabilidade seja um pouco inferior. Contudo, a partir do momento em que este produto começa se tornar “maduro” no mercado, começa aumentar os índices de confiabilidade. Portanto a empresa estima que para o lançamento de um novo produto a confiabilidade pode ser 80% daquela alcançada pelos produtos atuais, ou seja, quando este produto novo já estiver maduro no mercado ele deverá atingir 125% da confiabilidade prevista.

As informações sobre as falhas são necessárias para corrigir as deficiências do projeto. Entretanto, nos estágios adiantados da fase de projeto, os dados de falha não estão disponíveis. Assim, as falhas têm que ser geradas baseadas no julgamento prévio do conhecimento da engenharia. No processo da Previsão de confiabilidade da John Deere, os especialistas identificam os parâmetros que afetam a confiabilidade e comparam com os parâmetros do sistema de referência, onde há informações de confiabilidade disponível. Em geral, este sistema de referência é um produto atual já introduzido no mercado, com algum tempo de uso e históricos de garantia.

O coordenador do projeto revisa os aspectos importantes do novo projeto que indica onde se assemelha e onde difere do sistema de referência. As pessoas indicadas para auxiliar nesta fase, isto é, os especialistas, seriam as seguintes: o coordenador da confiabilidade, o representante de serviço e o coordenador de projeto.

Os parâmetros que afetam a confiabilidade de um projeto podem ser diferentes para cada tipo de subsistema, tais como: parâmetros e complexidade do projeto, aplicação e uso, ambiente, processos de manufatura e aspectos de controle da qualidade.

Para auxiliar na Previsão da confiabilidade, é utilizado um software. Este software é caracterizado por uma tela chamada Menu de Entrada do Especialista/Perito. Este menu de entrada é usado para compilar as respostas dos especialistas, fornecendo os parâmetros da confiabilidade e os fatores de comparação (cf), conforme Tabela 1.

A Figura 18 mostra a metodologia para determinar a Previsão da Confiabilidade e a aplicação desta ferramenta será demonstrada no capítulo 4.

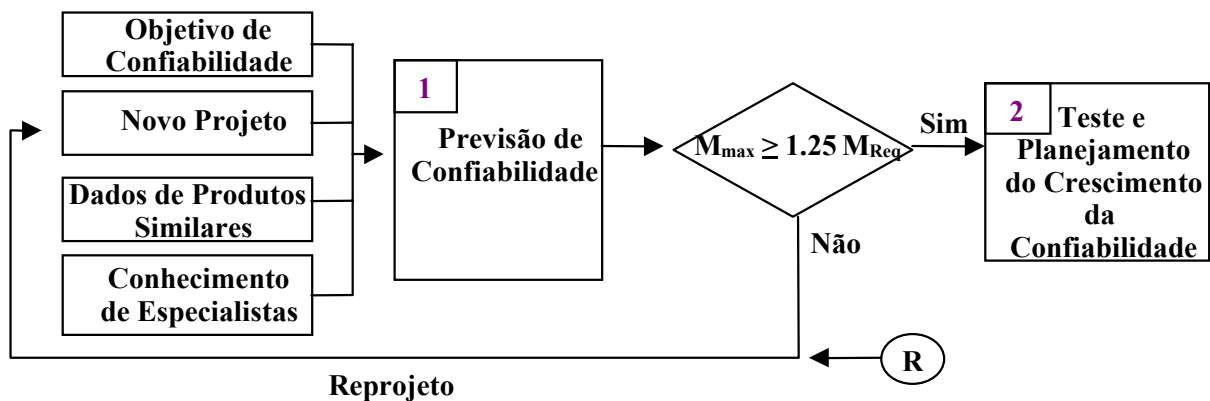


FIGURA 18 - Fluxograma da Previsão da Confiabilidade

A Previsão da confiabilidade pode ser representada de acordo com o modelo de Crow, o qual aparece esquematizado na Figura 19. Nesse modelo, são apresentados três níveis de confiabilidade que fazem parte do planejamento. A confiabilidade inicial, a qual é determinada antes do início dos testes de campo, sendo considerado nesta o uso de ferramentas tais como: análise de elementos finitos, análise de stress de materiais, modelamento de desenhos, entre outros, para que se obtenha uma confiabilidade inicial mais elevada possível, diminuindo assim o tempo de teste de campo e conseqüentemente os custos. O objetivo da confiabilidade geralmente é determinado através da comparação com outros equipamentos similares ou versões anteriores, quando estes satisfazem o mercado. A confiabilidade Inerente é o que se espera do produto quando este já estiver “maduro” no mercado.

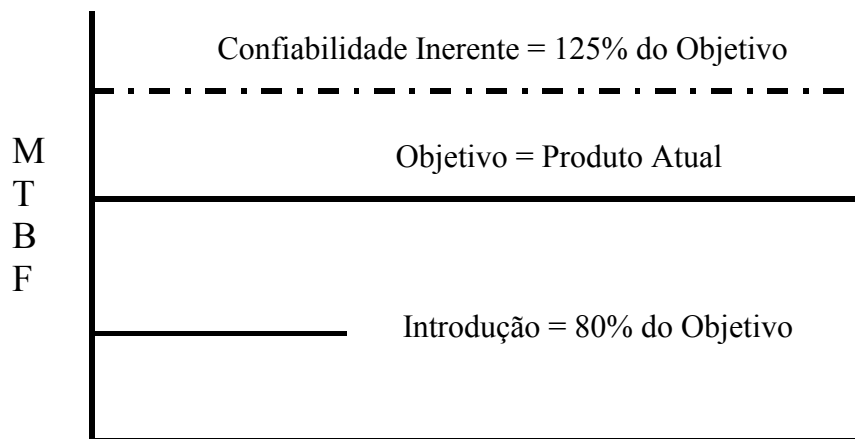


FIGURA 19 - Modelo de Crow

### 3.4.1.2 Teste e planejamento do crescimento da confiabilidade

As atividades do engenheiro da confiabilidade, na empresa em estudo, iniciam no começo da fase de avaliação e seleção de conceito do PDP, no planejamento do teste de crescimento da confiabilidade. A primeira ferramenta utilizada no gerenciamento do crescimento da confiabilidade é o desenho da curva de crescimento da confiabilidade. Essa curva relaciona o total de horas de testes e o desempenho do produto, indicando o tempo necessário para atingir o objetivo da confiabilidade estimada, como está representado na Figura 20.

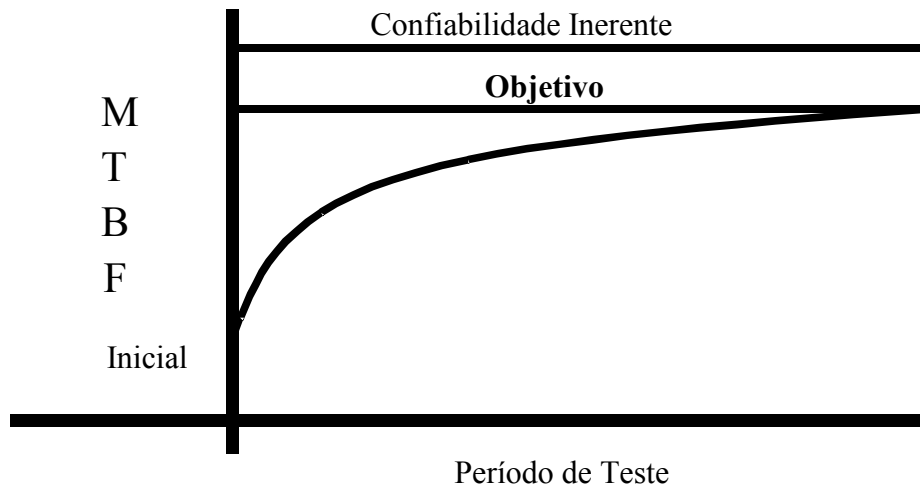


FIGURA 20 - Curva do Crescimento da Confiabilidade

Antes de desenvolver uma curva do crescimento da confiabilidade para um novo produto, diversas questões necessitam ser respondidas, tais como: o novo projeto poderá alcançar o objetivo da confiabilidade? Qual é a confiabilidade inicial do novo sistema? Qual é a taxa de crescimento? Qual será o tempo de teste necessário para que o novo sistema possa alcançar o objetivo de confiabilidade? Assim essas perguntas forem respondidas, as curvas do crescimento da confiabilidade poderão ser estabelecidas. A dificuldade se estabelece quando estas perguntas não podem ser respondidas nos estágios iniciais do projeto.

Crow (1986) estabeleceu uma estrutura, que relaciona a confiabilidade inicial e a confiabilidade inerente através do modo de falha e o conceito do fator de eficácia do reparo (tabela 2). Isso significa que, uma vez que a confiabilidade desejada é conhecida, a confiabilidade inicial pode ser calculada. Neste contexto, a confiabilidade inerente é definida como um valor que possa ser conseguido por um outro sistema, mais maduro. A confiabilidade desejada pode ser estimada usando métodos convencionais da Previsão da confiabilidade e é essencial em duas maneiras: primeiramente, ajuda a responder a pergunta: o novo produto poderá sempre alcançar o seu objetivo de confiabilidade? Se a confiabilidade inerente for menor que a exigência do novo produto, não poderá alcançar o seu objetivo a menos que os modos de falhas sejam mudados, reprojutando o sistema. Segundo, tendo-se a confiabilidade inerente pode-se determinar a confiabilidade inicial e, se esta for demasiadamente baixa, o programa necessitará de muito tempo de teste para alcançar o

objetivo. Assim, outra vez, o reprojeto será necessário antes que o protótipo esteja construído.

O teste e o planejamento do crescimento da confiabilidade, na segunda etapa do processo de gerenciamento do crescimento da confiabilidade, utiliza o modelo de Duane. Esta etapa utiliza também a estrutura de Crow, que relaciona a confiabilidade inicial com a confiabilidade inerente.

O modelo de Duane observa o aumento da confiabilidade devido às mudanças implementadas e incorporadas num projeto em desenvolvimento. Isto representa em um gráfico logarítmico que a curva da taxa cumulativa de falhas versus o tempo cumulativo de teste, é linear. A linha reta é baseada a um nível mínimo de dados compatíveis e a inclinação da reta define a taxa de crescimento da confiabilidade. No capítulo 4 serão apresentados gráficos de taxas de falhas em escala logarítmica.

A estrutura de Crow está representada na figura 19 terá uma abordagem prática no capítulo 4, mostrando como a confiabilidade inerente e o objetivo de confiabilidade são determinados.

Com o software de teste que será apresentado no capítulo 4 e o planejamento do crescimento da confiabilidade, pode-se determinar a confiabilidade inicial dos novos produtos e as horas totais de teste necessárias. Pode-se estabelecer a curva de crescimento da confiabilidade para o programa do novo produto e esta curva servirá mais tarde como comparativo, quando os dados de teste e o programa de avaliação começarem a evoluir. Os estudos da John Deere sugerem que a confiabilidade inicial deve ser pelo menos 50% do objetivo da confiabilidade (ver Figura 21); caso isso não ocorrer, a confiabilidade não poderá ser alcançada dentro do tempo de teste determinado. Com a confiabilidade inerente e a inicial, os coordenadores decidem se melhorias adicionais ao projeto serão necessárias antes da construção do protótipo. Melhorar o novo projeto antes de começar os testes irá auxiliar para que o objetivo da confiabilidade seja alcançado dentro do tempo de testes determinado. Os peritos podem identificar pontos fracos no projeto sem testá-lo e, assim, não serão desperdiçados tempo e dinheiro testando um produto inferior.

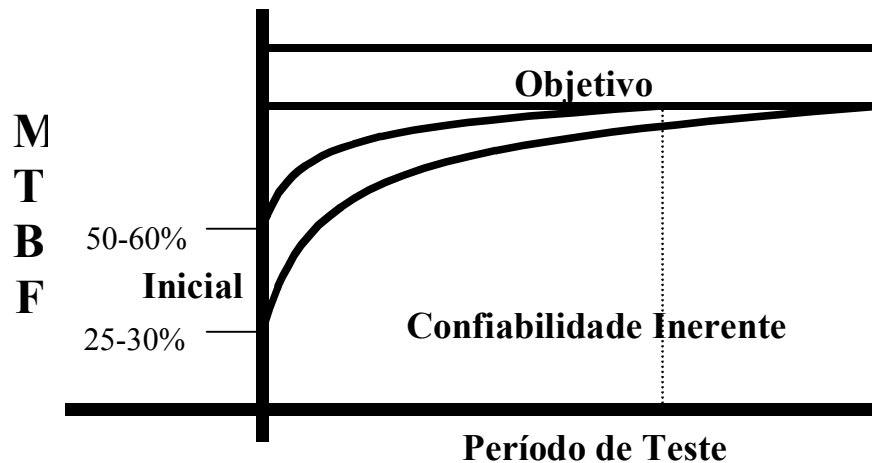


FIGURA 21 - Curva do Crescimento da Confiabilidade a 50% de Confiabilidade Inicial

A Figura 22 compara lado a lado os testes durante a fase de desenvolvimento e a fase operacional. Há algumas diferenças fundamentais entre estas duas estratégias de testes no que diz respeito à sua finalidade. Tratamento das falhas, análise de dados de teste e de interpretação dos resultados.

Para a análise dos dados de teste na fase de desenvolvimento são usados Modelos de Crescimento de Confiabilidade, nos quais encontram-se respostas para perguntas quantitativas sobre os níveis alcançados de confiabilidade, quão rapidamente um protótipo está alcançando o objetivo desejado, qual é a taxa de crescimento da confiabilidade e qual é o MTBF instantâneo no fim da fase de teste. Com as curvas de tendência estabelecidas, é possível extrapolar além da escala de dados de testes realizados, comparando a curva avaliada do crescimento com a curva de planejamento do crescimento. Pode ser visto antecipadamente se um programa de um novo produto está se desviando do objetivo e se ações corretivas serão necessárias.

Para a análise dos dados dos testes operacionais, é usado o tempo de teste para sistemas reparáveis, isto é, sistemas ou equipamentos que podem sofrer intervenções de manutenção ou projeto, a fim de atender as ações corretivas. Com este tempo, pode ser respondida a pergunta quantitativa da confiabilidade do equipamento.

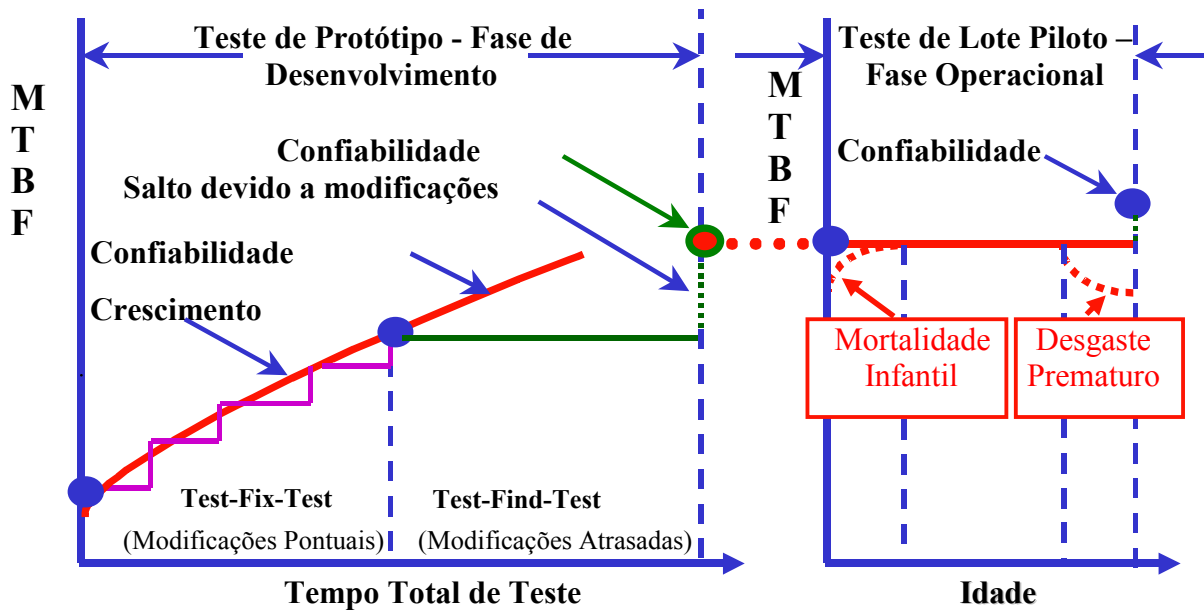


FIGURA 22 - Testes: Fase de Desenvolvimento e Fase Operacional

Há duas estratégias básicas de desenvolvimento de testes que podem ser usadas para melhorar a confiabilidade de uma máquina: Test-Fix-Test e Test-Find-Test. Na estratégia Test-Find-Test, as deficiências do projeto são identificadas, mas as ações corretivas serão implementadas no final da fase de testes. A melhoria ou o salto da confiabilidade são calculados incorporando créditos de reprojeto. Este método depende consideravelmente do julgamento da engenharia. A confiabilidade projetada, neste caso, não estabelece o fim dos testes, pois uma fase de teste adicional é necessária para verificar a eficácia das ações corretivas. A estratégia do Test-Fix-Test inclui a análise para determinar a causa das falhas, reprojeto para eliminá-la e verificar que a causa da falha seja eliminada. Na prática, quando uma falha ocorre, o equipamento sob teste é reparado e colocado fora de teste. As peças falhadas são então analisadas fora da máquina, sem impactar a programação de teste. Assim que os componentes reprojeto com melhor confiabilidade estiverem disponíveis, serão instalados na máquina de teste. Isto é, as modificações de projeto são incorporadas constantemente nos protótipos durante os testes. Com o uso da estratégia do Test-Fix-Test, a configuração de sistema muda e os dados da parte anterior de uma fase de teste não são representativos na configuração atual. Com a estratégia do Test-Fix-Test, o MTBF instantâneo estimado é baseado em dados. Na estratégia do Test-Fix-Test as poucas modalidades de falha vitais são reprojeto tão logo ocorram. As mudanças de componentes

devem ser executadas o mais rapidamente possível, e não ao final da fase de teste. Os projetos atualizados são instalados em todos os protótipos em teste que apresentaram a falha. Para este processo é estabelecido como objetivo dentro do programa de testes da empresa em estudo, ter as peças reprojatadas e instaladas em todas as máquinas em teste dentro de cinco semanas.

A estratégia do Test-Fix-Test faz uso mais eficaz do tempo alocado de teste. As ações corretivas para as poucas modalidades de falhas vitais são verificadas antecipadamente no projeto e no processo de reprojeto.

No programa de *test – fix – test*, quando uma falha é observada durante o teste, o mesmo é interrompido até que a mudança de projeto seja implementada ao sistema. Quando o teste for retomado, este estará com um incremento de confiabilidade. O gráfico de confiabilidade para esta estratégia de teste é uma série de passos crescentes e pequenos, com cada intervalo de tempo mais longo entre falhas. Este programa não é prático na maioria das situações. É provável que algumas melhorias sejam implementadas mais tarde. Não obstante, se são implementadas as ações corretivas o mais cedo possível, enquanto o teste ainda estiver em andamento, o passo do degrau assim com o aumento da confiabilidade fará com que a forma da curva e os degraus, se aproximem e subirá a uma taxa mais lenta. Assim, os passos vão tendo um comprimento mais longo. Continuando os testes depois que a ação corretiva foi implementada, eles servirão para verificar a melhoria da mudança do projeto.

No programa de *Test – Find – Test*, o sistema é testado também para determinar modos de falhas. Porém, é diferente do programa de *Test – Fix – Test* porque as ações corretivas não são implementadas no sistema durante a fase de teste. No entanto, as ações corretivas são todas implementadas no sistema ao término daquela fase e antes do próximo período de testes. Como um número grande de ações corretivas geralmente será implementado ao mesmo tempo no sistema, normalmente há um salto significativo na confiabilidade do sistema ao término da fase de teste. As ações corretivas implementadas no sistema entre fases de teste são chamadas ações corretivas atrasadas.

Há algumas pequenas vantagens estatísticas distintas em um programa de *test-fix-test* completo:



- O valor calculado da confiabilidade em qualquer ponto ao longo da curva de crescimento é um valor instantâneo. Quer dizer, não é o cálculo da média das falhas provenientes de testes anteriores com configurações menos maduras.
- Limite de confiança em torno do verdadeiro valor de confiabilidade pode ser estabelecido.
- Enquanto o impacto dos saltos em confiabilidade que usa julgamento de engenharia pode ser avaliado a cálculo direto, a estimativa de confiabilidade em um programa de *test-fix-test* é somente baseada em dados.

Em um programa de *test-fix-test*, estão sendo avaliadas as melhorias das mudanças de projeto continuamente.

A Figura 23 mostra o fluxo dos Teste e o Planejamento do Crescimento da Confiabilidade. A aplicação desta ferramenta será demonstrada no capítulo 4.

Com base nas informações originadas de pesquisa de produtos similares e nas experiências dos técnicos da área de serviços, é estruturada uma curva inicial de confiabilidade, a qual deverá ser seguida durante a fase de testes de campo. Parâmetros importantes são verificados como, por exemplo a confiabilidade inicial e após será iniciado a construção de protótipos.

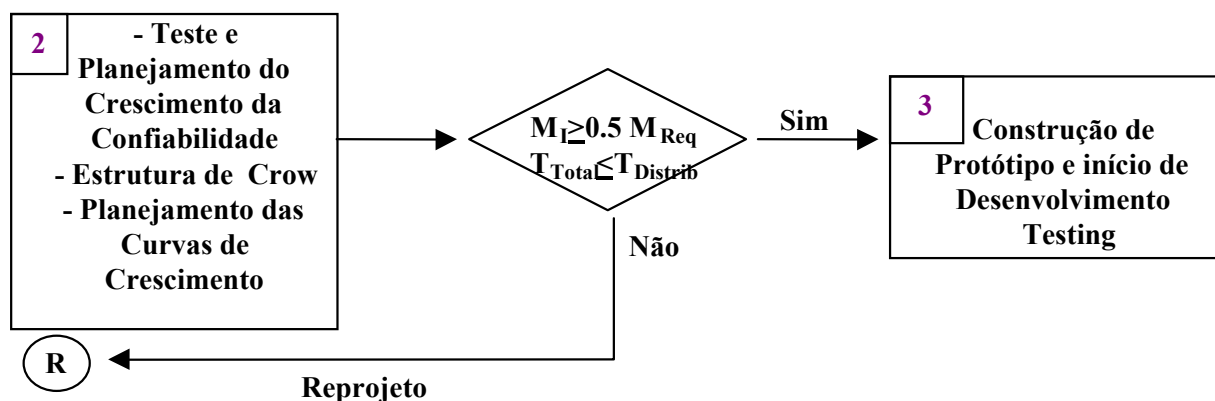


FIGURA 23 - Fluxograma do Planejamento de Teste do Crescimento da Confiabilidade

### **3.4.2 Fase de Análise**

#### **3.4.2.1 Modelagem do crescimento da confiabilidade e análise de sistemas reparáveis**

A modelagem do crescimento da confiabilidade é a etapa que analisa os dados de teste gerados por máquinas protótipos em teste de desenvolvimento. Esta etapa caracteriza dois modelos do crescimento da confiabilidade desenvolvidos por Larry Crow. Estes modelos são: O Modelo de Crow (AMSAA) - 1999, chamado assim porque este autor trabalhava na engenharia de materiais do exército dos Estados Unidos quando estabeleceu este modelo, e o outro é o Modelo da Projeção de Crow. O modelo de Crow (AMSAA) é usado para a análise de dados do Test-Fix-Test e o Modelo da Projeção de Crow é usado para a análise dos dados do Test-Find-Test.

Utilizando os modelos do crescimento da confiabilidade de Crow é possível traçar a curva de avaliação do crescimento da confiabilidade dentro de uma fase de testes. Comparando a curva avaliada do crescimento com a curva do planejamento do crescimento, pode-se ver antecipadamente se um programa de desenvolvimento de um novo produto está se desviando do objetivo, e se as ações corretivas serão necessárias. A etapa da análise de sistemas reparáveis (RSA) fornece métodos para prever quando um produto estará pronto para ser introduzido no mercado.

A modelagem do crescimento da confiabilidade e a análise de sistemas reparáveis (RSA) são etapas utilizadas simultaneamente pelo analista. A modelagem utiliza as informações contidas na curva do planejamento da confiabilidade. Baseado nessas informações é possível moldar uma curva que deverá ser seguida. Já a análise é feita com base nas informações dos testes de campo dos equipamentos. Essas informações são comparadas com a curva do esperada de crescimento da confiabilidade.

Os primeiros protótipos sempre terão deficiências de confiabilidade, que são difíceis de detectar inteiramente somente com a análise do projeto. Conseqüentemente, são submetidas a um programa de desenvolvimento de teste para detectar falhas do projeto e implementar ações corretivas. Durante a fase de desenvolvimento de testes de um novo produto, é muito importante uma avaliação apropriada dos níveis de confiabilidade e a comparação com os objetivos estabelecidos. A ferramenta utilizada na etapa do RSA permite

avaliar a confiabilidade alcançada durante o desenvolvimento de testes operacionais e monitorar o progresso do programa do novo produto. Esta ferramenta prevê mais exatamente o tempo médio entre a falha e a taxa de crescimento da confiabilidade e será demonstrada no capítulo 4. Nesta etapa são apresentadas metodologias diferentes, a serem aplicadas aos dados do desenvolvimento de testes operacionais. Os resultados obtidos podem ajudar a prever quando um novo produto estará pronto para a introdução no mercado. Os seguintes conceitos chaves são importantes dentro desta etapa: o resultado da confiabilidade do RSA; desenvolvimento ou estratégias de testes de protótipos; testes operacionais ou testes de lote piloto; e Previsão de garantia. Esses conceitos são explicados a seguir.

#### **3.4.2.1 Resultado da Confiabilidade – RSA**

O RSA fornece a informação do MTBF, obtida com os procedimentos de análise. Adicionalmente, fornece o MTBF Instantâneo, ou o IMTBF, e o crescimento da taxa de confiabilidade. O IMTBF é o parâmetro que melhor representa o estado atual da confiabilidade e é uma medida que mostra como o sistema está se comportando no momento.

Como indicado na figura a seguir, ambos os sistemas acumularam um total de 410 horas e apresentaram sete falhas como indicado pelos pontos sobre as linhas. Um sistema é chamado Sistema melhorado, o outro é chamado Sistema Deteriorado. O sistema melhorado apresenta uma frequência menor de falhas a medida que o tempo de teste está aumentando. Isto significa que a confiabilidade deste sistema está melhorando. O sistema deteriorado apresenta uma frequência maior de falhas à medida que o tempo de teste está aumentando. Isto significa que a confiabilidade deste sistema está se deteriorando. A maneira mais usual é calcular o MTBF do sistema, dividindo as horas totais acumuladas pelo número total das falhas apresentadas. Na figura 24 é calculado para ambos os sistemas um resultado de  $410/7 = 59$  Horas / Falha. Esta confiabilidade é conhecida como MTBF e é chamado de confiabilidade cumulativa.

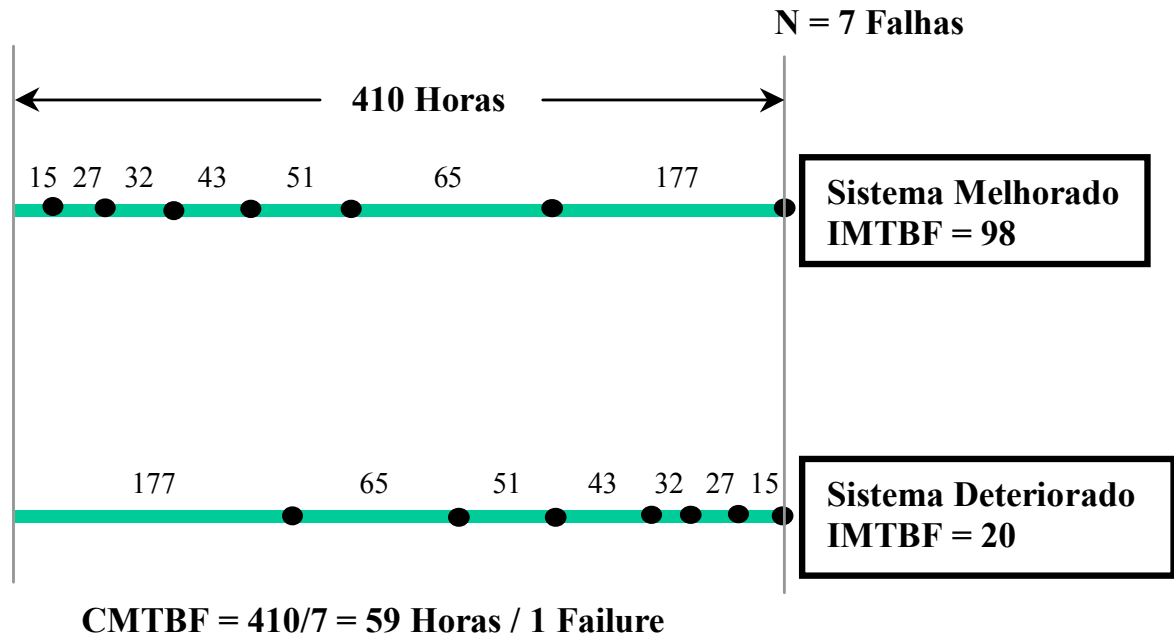


FIGURA 24 - Diferença entre Sistema Melhorado e Sistema Deteriorado

No sistema melhorado, o IMTBF no fim de 410 horas de testes é 98 horas / falha e o IMTBF para o sistema deteriorado é 20 horas / falha. Ao calcular da maneira tradicional seria apresentado um MTBF de 59 horas / falha. Para tomar a decisão se o produto está pronto para ser introduzido no mercado, a diferença entre 98 horas ou 20 horas de MTBF instantâneo contra um MTBF médio ou cumulativo de 59 horas é uma informação importante. Com esta análise de tendência, pode-se determinar antecipadamente se os níveis alcançados de confiabilidade dos programas dos novos produtos está se desviando do objetivo.

Outro resultado importante fornecido pela ferramenta do RSA é a taxa de crescimento da confiabilidade. As curvas do crescimento da confiabilidade traçam linhas retas em uma grade logarítmica e permanecem curvas em uma grade linear. A taxa de crescimento da confiabilidade é definida como a inclinação da curva do crescimento da confiabilidade na grade logarítmica; isto significa que a taxa de crescimento é constante ao longo da curva do crescimento traçada na grade linear. A taxa de crescimento da confiabilidade depende dos recursos disponíveis para o projeto e é uma medida da habilidade de executar ações corretivas.

### 3.4.2.2 Desenvolvimento ou estratégias de testes de protótipos

A finalidade do desenvolvimento de testes de protótipos é identificar e corrigir deficiências do projeto e verificar ações corretivas efetuadas anteriormente, modos de falha não detectados anteriormente e planejar ações corretivas que possam impedir ou diminuir o retorno destes problemas.

Conforme mencionado anteriormente, há duas estratégias básicas de desenvolvimento de testes que podem ser usadas para melhorar a confiabilidade de uma máquina: Test-Fix-Test e Test-Find-Test.

A Figura 25 mostra a Modelagem do Crescimento da Confiabilidade. Como pode ser visto, a modelagem envolve as informações obtidas com os testes de campo e se as mesmas estão indo de encontro com a confiabilidade requerida.

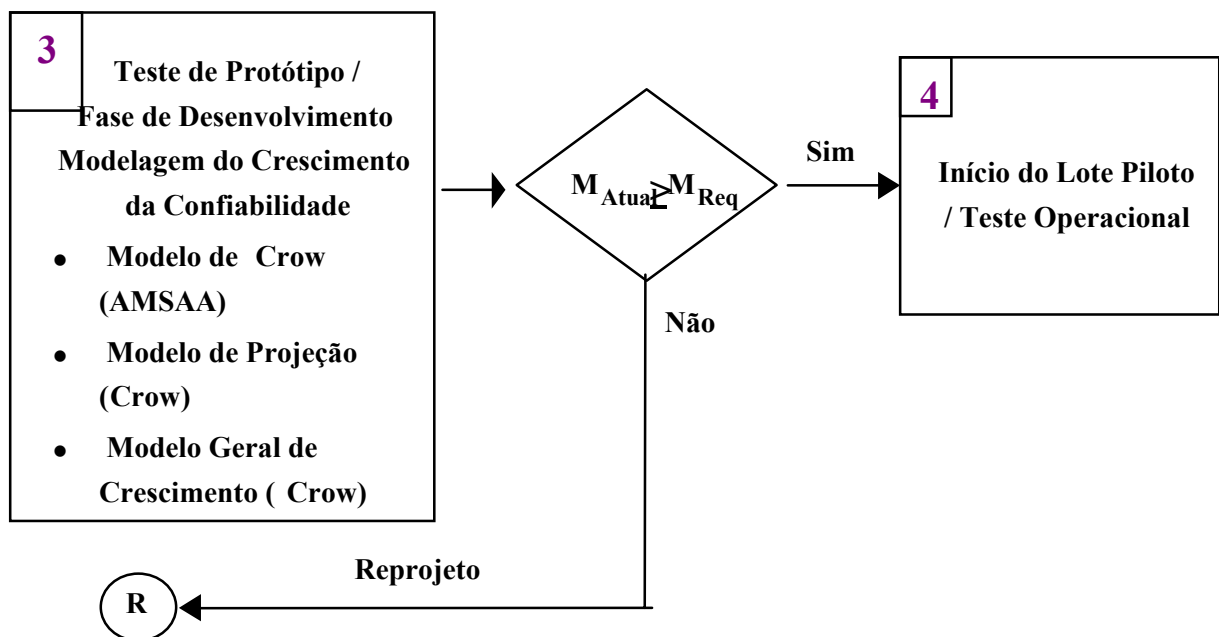


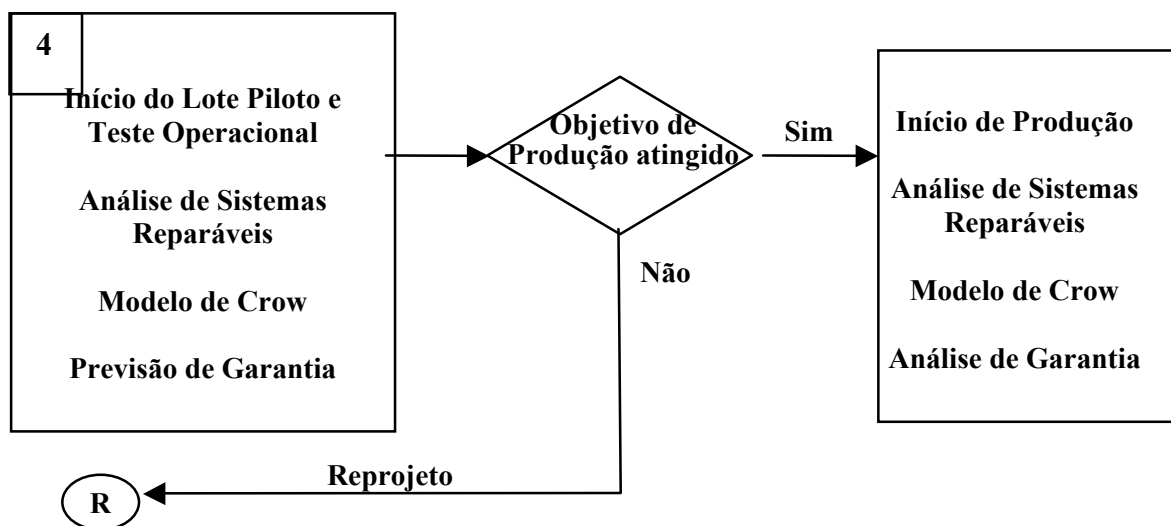
FIGURA 25 - Modelagem do Crescimento da Confiabilidade

### 3.4.4.3 Previsão de Garantia

Tipicamente, no fim de um programa de desenvolvimento de um novo produto, um lote piloto de máquinas é testado sob circunstâncias de uso dos clientes. Neste momento, busca-se avaliar o desempenho do equipamento e verificar possíveis falhas que ainda não

tenham sido eliminadas. A finalidade de testes operacionais no lote piloto é demonstrar, antecipadamente, o desempenho e a durabilidade da máquina. Durante o teste operacional e teste de lote piloto, as máquinas são tratadas como máquinas do cliente. Se uma máquina sofrer uma falha, a mesma será reparada; isto significa que a peça falhada é substituída por outra peça. As melhorias do projeto são mantidas, no mínimo, durante os testes operacionais. Neste momento o interesse está na confiabilidade do equipamento relacionada ao tempo de uso da máquina.

Para a análise dos dados de teste é recomendado o modelo de Análise de Sistemas Reparáveis ou o Modelo de Crow. Este modelo é particularmente utilizado para a análise dos dados de teste operacional gerados pela configuração do lote piloto, pré-produção ou as máquinas de produção operadas sob condições do cliente. Por exemplo, com este modelo podemos determinar o número das falhas por máquina por ano, para o primeiro ano, o segundo ano, etc.. Também podemos determinar o número das máquinas que sofrem falhas no primeiro ano, segundo ano, e assim por diante. Assim, podemos verificar se há problemas de desgaste prematuro e também medir a confiabilidade do equipamento utilizado pelo cliente.



A Figura 26 mostra o fluxo da fabricação do lote piloto e análise de confiabilidade.

FIGURA 26 - Fabricação e análise de Confiabilidade

## CAPÍTULO 4

### CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE: ESTUDO APLICADO

#### 4.1 Introdução

O presente capítulo tem como objetivo principal apresentar um estudo aplicado no processo do gerenciamento da confiabilidade, iniciando pela apresentação da empresa e do produto em estudo.

#### 4.2 Histórico da Empresa

A empresa Schneider e Logemann & Cia Ltda constituiu-se no ano de 1945. Produzindo ferramentas de uso em lavouras com a marca SLC, mantendo um vínculo muito forte com a agricultura, já que se estabelecia numa cidade essencialmente agrícola localizada no interior do Rio Grande do Sul.

Dois anos após, em 1947, passou a suprir as necessidades do mercado com as trilhadeiras SLC (Figura 27) que, por muitos anos, foi seu principal produto, proporcionando uma valiosa experiência e forjando sua tradição no segmento agrícola.



FIGURA 27 - Trilhadeira SLC

Sempre evoluindo no mercado em que trabalhava, em 1958 lançou uma colheitadeira rebocada (Figura 28), que utilizava a força motriz do trator. Na ocasião, esse foi um passo significativo no caminho da colheita mecanizada no Brasil.



FIGURA 28 - Colheitadeira Rebocada

Em 1965, numa iniciativa pioneira, a SLC fabricou a primeira colheitadeira automotriz brasileira (Figura 29). Esse modelo foi muito importante para o desenvolvimento da agricultura nacional. Nota: o espaçamento entre texto-objeto-texto deve ser padronizado. Deve ser exatamente o mesmo ao longo de todo o trabalho.



FIGURA 29 - Primeira Colheitadeira Automotriz brasileira

No dia primeiro de dezembro de 1978, constituiu-se a SLC S.A. INDÚSTRIA E COMÉRCIO, responsável pela atividade industrial do grupo Schneider e Logemann S.A.

Em 1979, buscando a ampliação de sua tecnologia, a SLC S.A. associou-se a Deere & Company (EUA) fabricante dos produtos John Deere e líder mundial na produção e pesquisa de equipamentos agrícolas, com a participação societária de 20%.

A associação entre a SLC e a Deere coloca a SLC junto a mais avançada tecnologia do mundo, comprovada em mais de 160 países.





FIGURA 30 - União entre SLC e Deere & Company (EUA)

No ano de 1982 a SLC S.A. ampliou a sua linha de produtos lançando no mercado uma linha de Plantadeiras e obteve assim o ciclo completo de plantio e colheita mecanizada.

Em 1989 entrou em operação a Fábrica II, atualmente a maior fábrica de Colheitadeiras e Plantadeiras da América Latina. Localizada no Distrito Industrial de Horizontina, ocupa uma área de terreno de 800.000 m<sup>2</sup> e a planta industrial possui 62.000 m<sup>2</sup> de área construída. Somando-se os 16.000 m<sup>2</sup> da Fábrica I, a empresa possui 78.000 m<sup>2</sup> de área construída.

Em 1996, esta associação foi ampliada e aprofundada com a criação da Empresa SLC - John Deere S.A., com 60% de capital da Schneider Logemann e 40% da Deere & Company. Com essa associação introduziu-se uma fábrica de tratores de classe mundial, passando a oferecer ao mercado uma moderna linha de máquinas agrícolas. Ainda em 1996 foi inaugurada a fábrica III, com mais de 20.000 m<sup>2</sup> totalizando 98.000 m<sup>2</sup> de área construída.

Em 1999 a Deere & Company (EUA) passou a ter o controle acionário da SLC - John Deere S.A. e em 2000 mudou o nome para John Deere Brasil S.A. Com o aumento da capacidade fabril e novas tecnologias, em 2003, foi inaugurado o sistema de pintura E-coat (Figura 31), processo de imersão e deposição eletrostática de pintura.



FIGURA 31 – Fábrica da John Deere Brasil em Horizontina/RS - Brasil, 2003

### 4.3 Produtos Atuais

Atualmente, a John Deere Brasil S.A. fabrica os seguintes produtos na unidade de Horizontina – Rio Grande do Sul:

As colheitadeiras de grãos com saca-palhas modelos 1165, 1175, 1450 e 1550. Estas estão consideradas colheitadeiras de classe 4 e 5, conforme Figura 32.

Os modelos de colheitadeiras rotativas, isto é, sem saca palhas são as 9650 e 9750, conforme Figura 33 e são consideradas como classe 6 e 7. A classe de uma colheitadeira é definida por fatores tais como: potência do motor, área de trilha, capacidade do tanque graneleiro entre outras características de capacidade e performance.



FIGURA 32 – Colheitadeiras de Grãos



FIGURA 33 - Colheitadeiras Rotativas

A colheitadeira de grãos rotativa com cilindro de trilha longitudinal é considerada a maior colheitadeira de grãos do mundo. É fabricada também nas unidades John Deere dos Estados Unidos e Alemanha.

A John Deere Brasil fabrica tratores de classe mundial, isto é, o mesmo trator que é produzido nas fábricas dos Estados Unidos, México e Alemanha, é produzido na unidade de Horizontina, sendo que algumas características são adaptadas as necessidades de trabalho para clima tropical (ver Figura 34).

As Plantadeiras atendem as necessidades de plantio direto e plantio convencional. As plantadeiras para plantio direto possuem sistemas de distribuição de sementes mecânico e pneumático. Já a plantadeira de plantio convencional possui somente distribuidores de sementes mecânico (ver Figura 35).



FIGURA 34 – Tratores



FIGURA 35 – Plantadeiras

As plataformas de corte para as mais diferentes culturas, tais como soja, trigo, arroz, cevada, sorgo, girassol, aveia, conforme a Figura 36, e as plataformas para milho, também são produtos de classe mundial, isto é, todas as unidades fabricam o mesmo produto sob controle de projeto da unidade dos Estados Unidos. Existem algumas modificações de projetos para que haja uma melhor adaptação ao clima e os diferentes tipos de culturas.



FIGURA 36 – Plataformas de Corte

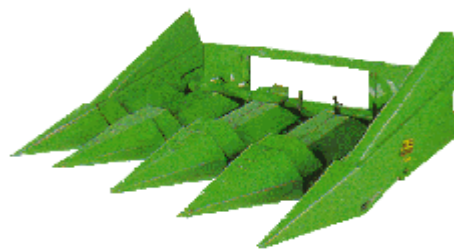


FIGURA 37 – Plataformas para Milho

A John Deere Brasil também fabrica no Brasil, na unidade de Catalão – GO, as Colheitadeiras de Cana de Açúcar da marca Cameco – John Deere.



FIGURA 38 - Colheitadeiras de Cana de Açúcar

#### **4.4 John Deere no Mundo**

A John Deere é uma empresa mundial, com mais de 43.000 funcionários e 32 fábricas no mundo, fazendo negócios em mais de 160 países e atuando nos segmentos de fabricação de equipamentos, os quais são divididos em: agrícolas, construção, florestal e equipamentos para jardinagem e paisagismo. Também possui as operações de crédito, onde presta serviços financeiros, financiando a venda de seus equipamentos, representados pelo Banco John Deere S/A.

As operações de suporte são representadas pelas fábricas de motores, peças de reposição e tecnologias especiais.

#### **4.5 Missão da Empresa**

A missão da empresa em estudo é fornecer sistemas de mecanização para a agricultura, com tecnologia adequada e qualidade superior, visando a satisfação do cliente, realização dos funcionários e retorno aos acionistas, contribuindo para o incremento da produtividade agrícola, respeitando o indivíduo, a sociedade e o meio ambiente.

Os princípios enunciados pela empresa são: satisfação do Cliente, Qualidade, Tecnologia, Continuidade, Lucro, Recursos Humanos e Responsabilidade Social.

#### **4.6 Produto que Originou o Estudo de Caso**

#### 4.6.1 Colheitadeira de grãos John Deere 1450 e 1550

Objetivando complementar a sua linha de produtos, a John Deere lançou no mercado, em maio de 2001, as colheitadeiras de grãos John Deere 1450 e 1550. Com o início deste projeto, foi iniciada a implementação do Processo de Gerenciamento da Confiabilidade na produção de máquinas agrícolas na John Deere Brasil.



FIGURA 39 – Colheitadeira John Deere 1450

As colheitadeiras John Deere modelos 1450 e 1550 apresentam alta tecnologia em colheita de grãos, destacando-se neste projeto pelo incremento da eletrônica embarcada e automatização dos ajustes e controles para adequar o equipamento às mais variadas situações de colheita.

#### 4.6.2 Características reprojadas no produto em estudo:

As características descritas abaixo foram assuntos abordados em análises de garantias e sugestões de melhorias dos concessionários e clientes. Os trabalhos de reprojeto foram executados e testados pela engenharia do produto e acompanhados pela engenharia da qualidade, a qual participou com a introdução de atividades de confiabilidade com o objetivo de introduzir estas práticas na John Deere Brasil.

Estas são as características que deram origem às melhorias de projeto dos novos modelos de colheitadeiras John Deere 1450 e 1550. O projeto destas colheitadeiras iniciou em 1998 em que estudos iniciais de confiabilidade, baseados em informações de garantia proporcionaram referências para que melhorias fossem implementadas e rastreadas durante a fase de testes.

### **4.6.3 Projeto**

A seguir serão descritas as modificações que foram realizadas durante o desenvolvimento do projeto. Estas modificações são originadas de análises de garantia e sugestões de melhorias de clientes com um trabalho conjunto de Marketing e Engenharia do Produto.

#### **4.6.3.1 Alimentador do cilindro**

Foi desenvolvido um sistema de engate rápido que permite um fácil acoplamento e desacoplamento da plataforma de corte ou de milho. Não requer nenhum tipo de ferramenta para acoplar/desacoplar a plataforma e reduz o tempo necessário para esta operação, proporcionando um maior tempo disponível para colheita. Também possibilita uma fácil remoção da plataforma, para tráfego em vias públicas.

#### **Reversor Hidráulico do Alimentador**

Foi desenvolvido um sistema com motor hidráulico que reverte a rotação do alimentador do cilindro, para evitar a entrada de volume excessivo (embuchamento) de palha dentro do cilindro. O reversor é controlado através de um pedal localizado no piso da cabine.

#### **Engates Rápidos**

Sistema de engates rápidos para acoplamento das mangueiras hidráulicas foram substituídos para que de forma fácil, rápida e sem vazamentos evitem danos durante a operação de acoplamento da plataforma, e estão convenientemente localizados e protegidos.

## Sistema de Inclinação Lateral

O sistema de Inclinação lateral é um sistema de autonivelamento que permite à plataforma bascular 4° (para cima ou para baixo), acompanhando o contorno do solo. A ação de basculamento automático permite à plataforma encontrar o ângulo correto para acompanhar a superfície do solo, independente do ponto no qual as rodas dianteiras da colheitadeira tocam o solo; proporciona uma altura de corte mais uniforme ao longo de toda a plataforma e permite ao operador manter a velocidade normal de colheita em áreas inclinadas, como por exemplo: terraços de base larga.

### 4.6.3.2 Sistema de trilha

#### Cilindro

Foi aumentado o ângulo de envolvimento do côncavo, que proporciona uma melhor ação de trilha com menor dano ao grão além da eficiente separação inicial do material trilhado. Isto permite operar com baixa rotação do cilindro de trilha, proporcionando uma trilha suave, eficiente, reduzindo a quebra de grãos.

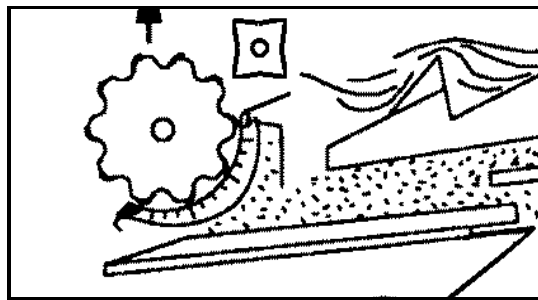


FIGURA 40 – Sistema de Trilha

Fonte: Manual Técnico John Deere

#### Acionamento do Cilindro

A transmissão de potência para o acionamento do cilindro de trilha se dá através de uma correia em forma de “V” e por um conjunto de polias variadoras equipadas com sistema POSI-TORQ®, que proporciona alta capacidade de transmissão, sem patinação da correia: este conjunto otimiza o uso da potência disponível do motor e aumenta a vida útil da correia, reduzindo o custo de manutenção.

### Ajustes de rotação do cilindro de trilha e abertura do côncavo

A rotação do cilindro de trilha e a abertura do côncavo são efetuadas à partir da cabine de operação, com comandos elétricos, permitindo fácil ajuste durante a operação de colheita, possibilitando ajustes instantâneos e possui indicador digital, localizado na coluna direita da cabine informa a rotação do cilindro e a posição (abertura) do côncavo.

#### 4.6.3.3 Sistema de separação e limpeza

##### Cilindro Batedor

Foi desenvolvido um Cilindro batedor de grande diâmetro, o qual melhora a condução do material trilhado para os saca-palhas.

##### Saca-Palhas

Saca-palhas projetado com maior comprimento e amplitude de movimento possibilita mais revolvimentos do material, minimizando as perdas na separação e a frequência de oscilação com pequeno consumo de potência; os cinco saltos ascendentes proporcionam melhor distribuição do fluxo do material, resultando na separação da maioria dos grãos ainda na porção inicial do saca-palhas.

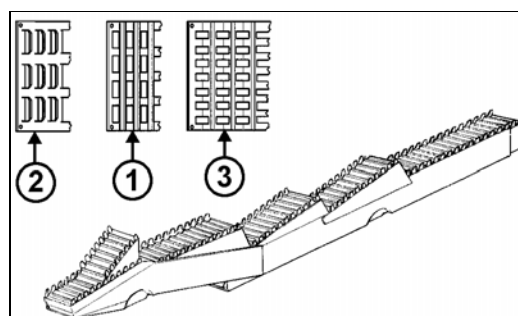


FIGURA 41 – Saca palhas (1) versão arrozeira; (2) versão básica (milho / soja); (3) trigo e outras gramíneas

Fonte: Manual Técnico John Deere

##### Ventilador

Foi desenvolvido um ventilador com múltiplas entradas que permitem a admissão de grandes volumes de ar e a rotação do ventilador é ajustada eletricamente a partir da cabine,



mostrando a rotação no painel digital. Esta operação pode ser executada durante o processo de colheita.

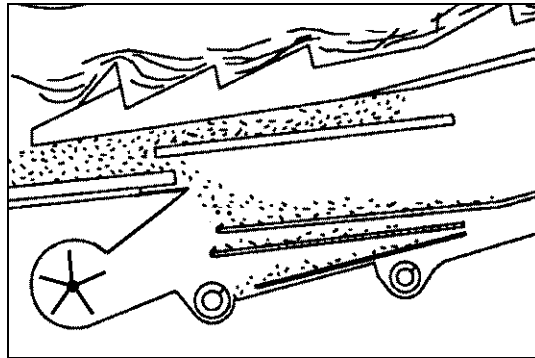


FIGURA 42 – Ventilador

Fonte: Manual Técnico John Deere

#### **Peneiras Superior e Inferior:**

As peneiras permitem ajustes aos vários tipos de culturas. O sistema de iluminação localizado no interior do corpo da máquina provê luminosidade para ajuste, inspeção e limpeza das peneiras durante operações noturnas.

As peneiras possuem movimentos opostos, proporcionando maior volume de ar entre as peneiras superior e inferior. Há maior agitação do material para uma eficiente remoção das impurezas e a diminuição da vibração da máquina durante a operação de colheita.

#### **4.6.3.4 Cabine de operação**

Com o conceito de célula, a nova cabine esta montada sobre coxins de borracha que proporcionam melhor isolamento da máquina diminuindo as vibrações. A cabine de operação foi equipada com ar condicionado, proporcionando ao operador um ambiente confortável e livre de poeira.

Os novos controles eletro eletrônicos estão localizados ao alcance da mão direita do operador, e são acionados por um leve toque dos dedos.

### **Comandos eletrohidráulico:**

Os novos comandos eletrohidráulicos que anteriormente eram acionamentos mecânicos e dependiam de ajustes com ferramentas, agora podem ser acessados de dentro da cabine:

- Acionamento da trilha;
- Velocidade do molinete;
- Abertura/fechamento do tubo de descarga;
- Acionamento do tubo de descarga,
- Acionamento da plataforma de corte;
- Sistema controle automático de altura de corte;
- Sistema Dial-A-Speed® (controle automático da velocidade do molinete);
- Ajuste da rotação do ventilador de limpeza;
- Ajuste da rotação do cilindro da trilha;
- Ajuste da abertura e fechamento do côncavo;

### **Instrumentos e Controles**

A nova alavanca multi-função do tipo joy-stick assegura maior conforto durante a operação, pois funções rápidas podem ser ativadas tais como: altura e inclinação da plataforma, altura, avanço e recuo do molinete e avanço e retrocesso da colheitadeira.

### **Monitor**

O novo posicionamento do monitor com os instrumentos analógicos e digitais, na coluna direita, dentro do campo de visão periférica do operador, possibilita uma fácil visualização sem desviar a atenção durante a operação de colheita, permitindo monitorar as

seguintes funções: Temperatura do sistema de arrefecimento do motor, nível de combustível, rotação do motor, rotação do cilindro de trilha, abertura do cilindro-côncavo; rotação do ventilador, velocidade de avanço da colheitadeira, horas do motor, horas do sistema de trilha, monitor de performance.

### **Monitor de Performance**

Com a inclusão do monitor de performance, o operador mantém-se informado sobre as perdas de grãos no saca-palhas e nas peneiras, possibilitando assim otimizar a produtividade da colheitadeira.

#### **4.6.3.5 Sistema elétrico**

A nova central elétrica reposicionada para melhorar a manutenção, concentra fusíveis, relés e circuitos impressos. Está localizada na plataforma de acesso à cabine. É uma caixa selada para minimizar a contaminação por poeira e umidade e possui chave geral para cortar a corrente da bateria.

#### **4.6.3.6 Sistema hidráulico**

O Comando hidráulico foi reposicionado no lado esquerdo da colheitadeira, com acesso ao alcance do solo que facilita na manutenção e as novas conexões hidráulicas utilizam sistema de vedação de face com anel o´ring (ORFS) de alta confiabilidade.

#### **4.6.3.7 Picador de palhas**

O acionamento do picador de palha foi projetado independente do acionamento do motor, os quais eram acionados simultaneamente na versão anterior, com isso, assegura uma maior segurança ao transportar a colheitadeira. O acionamento com duas velocidades aumentam a versatilidade do picador de palha em diferentes culturas e condições de colheita. A nova polia com dois canais possibilita a rápida e fácil troca de velocidades.

#### **4.6.3.8 Tanque graneleiro e tubo de descarga**

A inclusão do alarme sonoro e luminoso indica ao operador o momento da descarga quando o tanque graneleiro estiver cheio. A janela de inspeção de grãos dá ao operador, boa visibilidade do tanque graneleiro, a partir da cabine, e o novo painel articulado permite fácil obtenção de amostras dos grãos armazenados no tanque graneleiro, à partir da plataforma de acesso à cabine.

O tubo de descarga projetado para descrever um arco de 110° melhora a distribuição dos grãos na carreta graneleira ou caminhão, proporcionando menos manobras. Possui acionamento com comando elétrico de dentro da cabine (abertura e fechamento, ligar e desligar) e descarrega em qualquer posição.

#### **4.6.3.9 Motor**

A colheitadeira 1450 é equipada com motores JD série 350 e a 1550 com motores 450. O compartimento do motor foi reprojetoado para proporcionar mais espaço e melhor servicibilidade com acesso amplo na caixa dos radiadores, conseguindo, assim proporcionar melhor troca térmica; os depósitos hidráulicos do sistema hydro e hidráulico são independentes, porém construídos num mesmo corpo otimizando a manutenção e verificação diária de níveis.

O motor turbinado, desenvolvido especificamente para aplicações em máquinas agrícolas, possui camisas úmidas recambiáveis, proporcionando maior dissipação de calor; a bomba d'água com acionamento por engrenagens e o filtro de óleo projetado na posição vertical, facilitando a manutenção; opera em regime de baixa rotação e a lubrificação é pressurizada, com óleo filtrado e arrefecido.

#### **4.6.3.10 Servicibilidade**

O novo desenho das blindagens mais amplas com melhoria no acesso aos pontos de lubrificação e serviços possuem proteções laterais articuladas; o sistema de amortecedores a gás auxiliam na abertura dos painéis.

O novo posicionamento do motor, montado na parte posterior da colheitadeira, permite fácil acesso aos seguintes pontos: filtro do óleo do motor, filtro de ar, filtro do combustível, vareta de nível do óleo do carter, compressor do ar condicionado, alternador e reservatório do óleo hidráulico.

#### **4.7 Estudo Aplicado: Gerenciamento da Confiabilidade**

O ciclo do desenvolvimento de produtos da empresa em estudo, conhecido como PDP, apresentam duas fases distintas de gerenciamento da confiabilidade. A primeira é a fase de Planejamento, a qual contempla a Previsão da confiabilidade e o teste e planejamento do crescimento da confiabilidade. A segunda é a fase de análise, onde são acompanhadas as evoluções da modelagem do crescimento da confiabilidade, e a análise de sistemas reparáveis.

Neste estudo aplicado, onde foram utilizadas pela primeira vez as ferramentas da confiabilidade, na fase de planejamento foram usadas somente as ferramentas da Previsão da confiabilidade e na fase de análise, somente a análise do software RSA – Análise de Sistemas Reparáveis. As atividades de teste e planejamento e a modelagem do crescimento da confiabilidade serviram somente como orientação para o processo, sem que fossem feitos registros.

##### **4.7.1 Planejamento do gerenciamento da confiabilidade**

###### **4.7.1.1 Previsão da confiabilidade**

A Previsão da confiabilidade é o processo quantitativo de estimar a confiabilidade de um sistema, isto é, a confiabilidade que é determinada por ser tecnicamente atingível em um projeto dentro de suas metas de tempo e custo. O processo da Previsão da confiabilidade usado no início da fase de avaliação do conceito utiliza uma metodologia para suportar um processo iterativo entre projeto e desenvolvimento. Este processo envolve os aspectos apresentados na Figura 43.

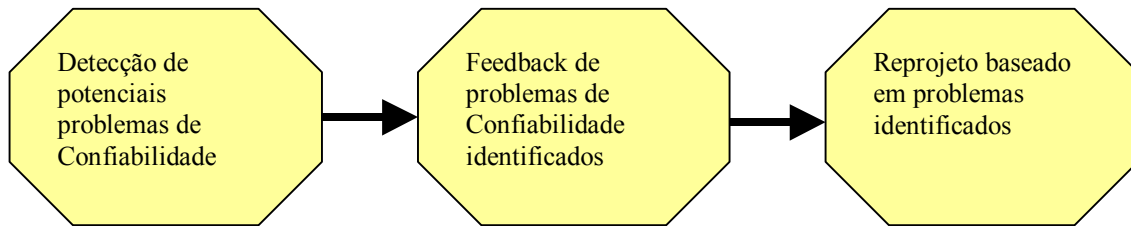


FIGURA 43 – Processo iterativo de Previsão da confiabilidade

O processo da Previsão de confiabilidade determina um objetivo para que o projeto tenha uma referência de confiabilidade previamente definida. O objetivo neste projeto, em função de ter sido o primeiro com a utilização dos recursos das ferramentas de confiabilidade, foi determinado de forma que, no momento da introdução do novo produto, a confiabilidade deveria ser 80% da confiabilidade do produto atual, ao qual foram adicionados todas as modificações e reprojeto mencionados da sessão 4.6.3. Este processo ajuda no desenvolvimento do projeto e facilita no estabelecimento dos valores inerentes de confiabilidade quando os dados de falha para este produto ainda não estejam disponíveis.

O processo que a empresa em estudo utilizou exigiu algumas atividades preparatórias, reuniões dos especialistas e a análise dos dados utilizando um programa em excel que compila as informações e fornece a confiabilidade inerente do sistema. Para a análise dos 24 sistemas em que houve mudança de projeto, conforme a planilha do Experts Input Menu, foram realizadas aproximadamente 24 horas de reuniões, separadas durante uma semana.

O processo de Previsão da confiabilidade para este produto considerou os modos de falhas críticos, isto é, quando um sistema ou subsistema apresenta uma falha específica, e as operações referentes à aplicação do produto ao nível de componentes. O método de análise permitiu a Previsão das taxas de falhas dos componentes, isto é, quantas falhas poderão ocorrer com estes sistemas, subsistemas ou componentes, dentro do período de garantia. Uma vez que as taxas de falhas dos componentes foram determinadas, a confiabilidade inerente do novo produto também é encontrada. Baseado em informações de produtos similares, tais como informações de garantia de um produto atual, no conhecimento, julgamento e experiência dos especialistas, a confiabilidade inerente de um novo projeto pode ser avaliada e comparada com o objetivo de confiabilidade utilizando a planilha Experts Input Menu. Para fornecer um grau de confiança e um nível satisfatório na confiabilidade inerente, é

recomendado que esta seja no mínimo 25% acima do objetivo de confiabilidade. Se o novo produto não atingir este valor na confiabilidade inerente, certamente reprojeto serão necessários antes de iniciar a construção dos protótipos.

A correção das necessidades do projeto requer informações de falhas. Contudo, na fase inicial do projeto, os dados de falhas não estão disponíveis. Sendo assim as falhas são geradas baseadas em um conhecimento e julgamento prévio de engenharia.

Os procedimentos para a obtenção da confiabilidade inerente do novo sistema, podem ser visto na Figura 44. Em geral, as referências são de produtos atuais ou antigos.

Deve-se enfatizar as semelhanças e diferenças do novo projeto sob o ponto de vista de aplicação do produto, do cliente e do ambiente de uso. Além disso, o engenheiro de confiabilidade apresentou os modos e as taxas de falhas observadas para o sistema de referência. Os modos de falhas e a taxa de falhas são encontrados dentro do sistema de gerencia as informações de garantia, é um relatório que pode ser separado em sistemas, subsistemas e componentes. Outras informações apresentadas são as especificações do produto. As deficiências detectadas no processo de Previsão da confiabilidade, isto é, devido as mudanças que ocorrerão, faz com que os valores encontrados para as taxas de falhas sejam maiores dos que os atuais. As deficiências detectadas são encaminhadas à atenção dos responsáveis pelo projeto, para que os problemas potenciais não sejam carregados dentro de um novo projeto e para que erros sejam pegos antes que se tornem novos problemas.

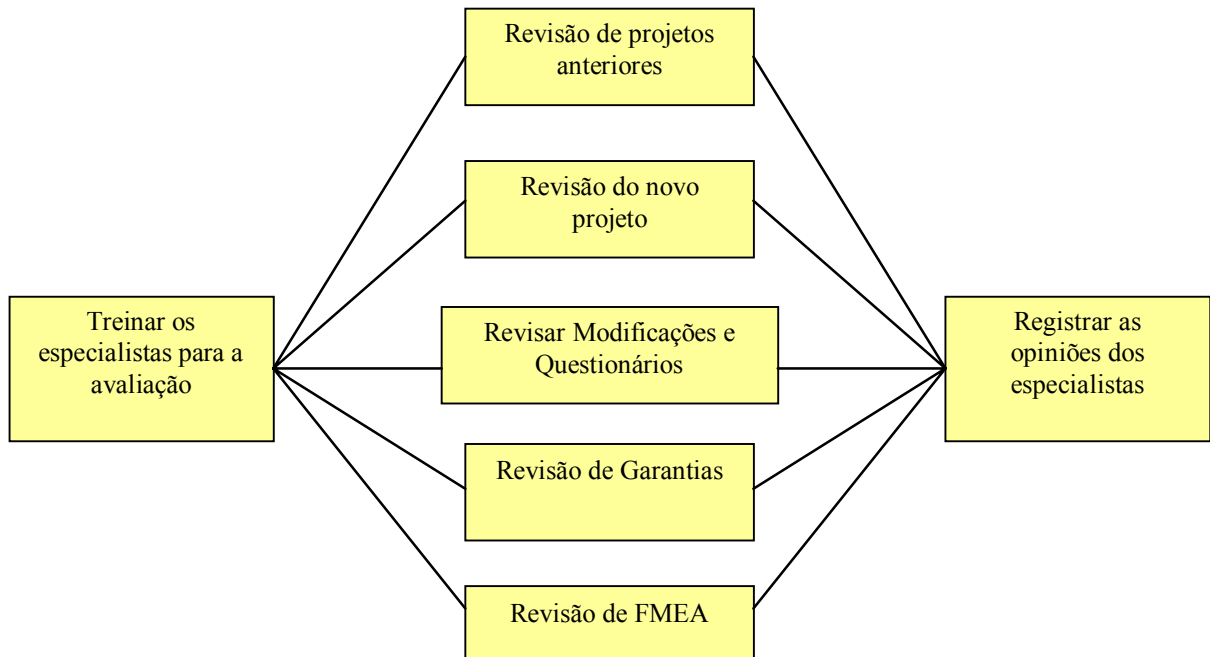


FIGURA 44 - Atividades preparatória dos Especialistas

Os parâmetros que afetam a confiabilidade de um projeto devem ser diferentes para cada tipo de subsistema. Estes parâmetros indicam: a situação atual do projeto, complexidade, parâmetros, aplicação, uso, ambiente, processo de manufatura, controle de qualidade, etc.

O programa da planilha excel de Previsão da confiabilidade é chamada de “*Expert Input Menu*”. Esta planilha é usada para compilar as respostas dos especialistas.

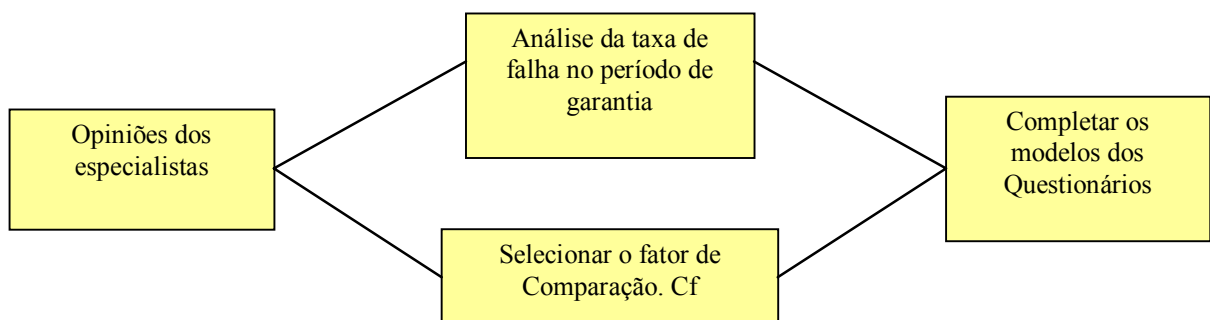


FIGURA 45 - Atividades de Avaliação dos Especialistas

A análise dos dados é processada após compilar os dados de todos os especialistas na planilha “*Expert Input Menu*”.



Uma vez que as taxas de falhas dos componentes dos produtos atuais são conhecidas, a confiabilidade inerente para o novo produto pode ser determinada, e, a partir desta, a confiabilidade inicial do sistema pode ser estimada.

A Confiabilidade inerente é composta pela taxa de falha de garantia, isto é, quantas falhas ocorreram com uma determinada população de máquinas que estão dentro do período de garantia, e o fator de comparação, que verifica o suposto comportamento baseado na experiência dos especialistas, comparando o sistema atual com o novo sistema, conforme Tabela 1.

A seguir é apresentada a planilha deste projeto no estudo aplicado, com os sistemas avaliados por um dos especialistas. As informações reais referentes a taxas de falhas, cf (fator de comparação) não podem ser divulgadas por serem informações confidenciais para publicações. Os valores foram deliberadamente alterados, para manter o sigilo de informações consideradas estratégicas no âmbito da empresa.

## Experts Input Menu

Ismar Schaedler : Expert's Name

Parameter Name	$\lambda_{Warranty}$	$C_f$	$\lambda_{Mean}$
Alimentador do Cilindro	2,117E-06	1,56	1,358E-06
Reversor hidráulico do	5,622E-05	1,51	3,729E-05
Engates Rápidos	8,468E-05	1,13	7,468E-05
Sistema de Inclinação Lateral	1,082E-05	1,04	1,043E-05
Sistema de Trilha	1,434E-05	1,43	1,003E-05
Cilindro	2,576E-06	1,02	2,516E-06
Acionamento do Cilindro	3,517E-05	1,05	3,337E-05
Rotação do Cilindro e Abertura do	4,369E-06	1,05	4,158E-06
Sistema de Separação e Limpeza	2,670E-05	1,01	2,636E-05
Cilindro Batedor	6,587E-06	1,85	3,560E-06
Saca Palhas	6,822E-06	0,99	6,861E-06
Ventilador	8,256E-05	1,27	6,500E-05
Peneiras	2,117E-06	1,02	2,071E-06
Cabine de Operação	2,329E-05	0,99	2,354E-05
Comandos	1,691E-06	1,30	1,301E-06
Istrumentos	5,469E-05	0,97	5,614E-05
Monitor	1,546E-05	2,30	6,721E-06
Sistema Elétrico	2,879E-04	1,22	2,360E-04
Sistema Hidraulico	7,763E-06	0,99	7,871E-06
Picador de Palhas	2,159E-04	0,98	2,208E-04
Tanque Graneleiro	2,717E-05	0,99	2,736E-05
Tubo de Descarga	1,111E-09	1,00	1,115E-09
Motor	2,117E-06	1,45	1,460E-06
Servicebilidade	3,517E-05	1,05	3,337E-05
		$\lambda_{Mean} =$	8,92E-04
		$\lambda_{Inherent} =$	1120,77

TABELA 1 – Experts Input Menu – John Deere

O  $\lambda_{Warranty}$  é a taxa de falha dos componentes ou subsistemas, que foram retirados do sistema de gerenciamento de informações de garantia. Comparando com a nova proposta de mudança para os itens listados na tabela 1, os especialistas estimaram qual seria o comportamento desta mudança baseado em seus conhecimentos de produto, aplicações no campo durante a colheita e aceitação do cliente. O  $C_f$  – Fator de Comparação é utilizado considerando as mudanças do ambiente de aplicação ou utilização e a mudança do projeto para cada item da tabela 1. O  $\lambda_{Mean}$  é a divisão do  $\lambda_{Warranty}$  pelo  $C_f$ , obtendo assim uma estimativa da nova taxa de falha para aquele sistema.

O inverso do somatório dos  $\lambda_{Mean}$  representa a Confiabilidade Inerente de todo o sistema. Geralmente, esse valor deve ser 25% acima da confiabilidade do produto atual e serve como referência para o Planejamento do Crescimento da Confiabilidade.

CF			Mudança do Projeto				
			Melhoria		Carryover	Compromete	
			Maior	Menor		Menor	Maior
Mudança de Ambiente	Melhoria	Maior	> 5.0	2.5 – 5.0	1.5 – 2.5	1.0 – 1.5	1.0
		Menor	2.5 – 5.0	1.5 – 2.5	1.0 – 1.5	1.0	0.7 – 1.0
	Carryover		1.5 – 2.5	1.0 – 1.5	1.0	0.7 – 1.0	0.4 – 0.7
	Melhoria	Menor	1.0 – 1.5	1.0	0.7 – 1.0	0.4 – 0.7	0.2 – 0.4
		Maior	1.0	0.7 – 1.0	0.4 – 0.7	0.2 – 0.4	< 0.2

TABELA 2 – Cf - Fator de Comparação de Parâmetros

Na realização da atividade de Previsão da confiabilidade foi explicado aos especialistas as diferenças entre o novo projeto e o sistema atual. As informações de garantia, as taxas de falhas dos componentes individuais e os modos de falhas do sistema atual foram fundamentais para que as atividades fossem executadas.

Alguns subsistemas do novo projeto possuíam as mesmas peças ou funções comparadas com os sistemas ou subsistemas de um produto atual, outros não. Sendo assim, as diferenças foram observadas quando estimadas as taxas de falhas para os novos sistemas.

Os especialistas que fazem parte deste trabalho são os seguintes: engenheiro do produto, engenheiro da confiabilidade, qualidade, engenheiro de materiais, manufatura, serviços, marketing, compras e outros que o responsável pelo projeto julgar necessário.

As informações levadas em consideração com relação às especificações do produto são as mudanças de projeto, razões para estas mudanças e o efeito destas mudanças na aceitação do cliente. Isto significa que todas as mudanças de projetos são orientadas para que o produto tenha melhoria na performance e em redução de custos. O efeito destas mudanças na aceitação do cliente refere-se como o cliente irá aceitar esta modificação e se pagará mais para ter este benefício caso não tenha uma redução, mas sim um incremento de custo.

Os tipos de parâmetros de projeto analisados são a carga aplicada, velocidade, estresse, vida útil, etc. Os resultados das previsões dos especialistas serão comprovados em testes de laboratório e testes de campo.

Os resultados obtidos não podem ser apresentados na sua íntegra, mas as relações percentuais podem dar a idéia da evolução do trabalho. Considerando a confiabilidade atual do produto sem as mudanças de projeto como referência de 100%. Começamos com a utilização da tabela 1 *Experts Input Menu*, o valor encontrado para a confiabilidade inerente, ou seja, a confiabilidade após os reprojatos e modificações estarem maduros no novo produto, foi 18% superior a confiabilidade do produto atual. Isto representa que as novas modificações dos sistemas passam um sentimento de melhoria, segundo a análise dos especialistas. Analisando a sessão 3.4.1.1 do capítulo 3, a figura 19 sugere que a confiabilidade inerente seja 25% da confiabilidade atual. Sendo esta a primeira atividade realizada, a equipe considerou como aceitável 18% de melhoria na confiabilidade do novo produto.

Na fase inicial dos testes de campo, foi esperado a confiabilidade inicial entre 50 e 60% da confiabilidade atual. O valor encontrado foi de 57%, satisfazendo as expectativas até aquele momento.

#### **4.7.1.2 Teste e planejamento do crescimento da confiabilidade**

As atividades de testes e planejamento da confiabilidade não foram realizadas na sua íntegra. A principal observação é de que a confiabilidade inicial, logo no início da fase de testes de campo, deve estar entre 50 e 60 % do objetivo de confiabilidade, onde é construindo um gráfico que demonstra como está sendo o crescimento da confiabilidade ao longo do período de teste. Foram realizadas 7500 horas de testes, divididas em duas gerações de protótipos. Os protótipos foram testados pela engenharia experimental, e alguns foram

testados por clientes. Os clientes que participam dos testes de campo com novos produtos, são os mesmos clientes convidados nas fases iniciais do PDP, para contribuir com seus conhecimentos e sugestões para a melhoria do produto.

Durante a fase de testes, foram verificadas 53 falhas, considerando tanto as falhas únicas como as falhas repetidas, isto é, componentes que falharam mais de uma vez. No *Event Review*, processo que será explicado mais adiante, há uma classificação destas falhas, considerando a gravidade da falha, a complexidade e o custo do componente. Após esta classificação realizada pelas pessoas envolvidas no projeto, o engenheiro do produto, qualidade, confiabilidade, suprimento e serviços, é definida a prioridade para o início das modificações necessárias e implementação das ações corretivas.

#### **4.7.2 Análise do gerenciamento da confiabilidade**

A Análise do Gerenciamento da Confiabilidade é um planejamento sistemático para alcançar a confiabilidade em função do tempo. O controle é baseado em comparações entre o que foi planejado e os valores avaliados durante os testes dos novos produtos.

##### **4.7.2.1 Modelagem do crescimento da confiabilidade**

A estratégia de testes utilizadas pela empresa em estudo foi o *Test-Find-Test*, devido ao produto estar sujeito a sazonalidades da colheita de grão, isto é, determinada safra só pode ser colhida em uma janela específica de tempo, levando em consideração os fatores climáticos e geográficos do Brasil.

Utilizando os modelos do crescimento da confiabilidade de *Crow* é possível traçar a curva de avaliação do crescimento da confiabilidade dentro de uma fase de testes. Comparando a curva avaliada do crescimento com a curva do planejamento do crescimento, pode-se ver antecipadamente se um programa de desenvolvimento de um novo produto está se desviando do objetivo, e se as ações corretivas serão necessárias. A modelagem do crescimento da confiabilidade e a análise de sistemas reparáveis (RSA) são etapas utilizadas simultaneamente pelo analista. Na modelagem as informações contidas na curva do planejamento da confiabilidade, são informações que foram moldadas em uma curva que

deverá ser seguida. Já a análise de sistemas reparáveis é feita com base nas informações dos testes de campo realizados nos equipamentos, onde é feito o acompanhamento das informações através da comparação com a curva do planejamento da confiabilidade, conforme pode ser observado na figura 46.

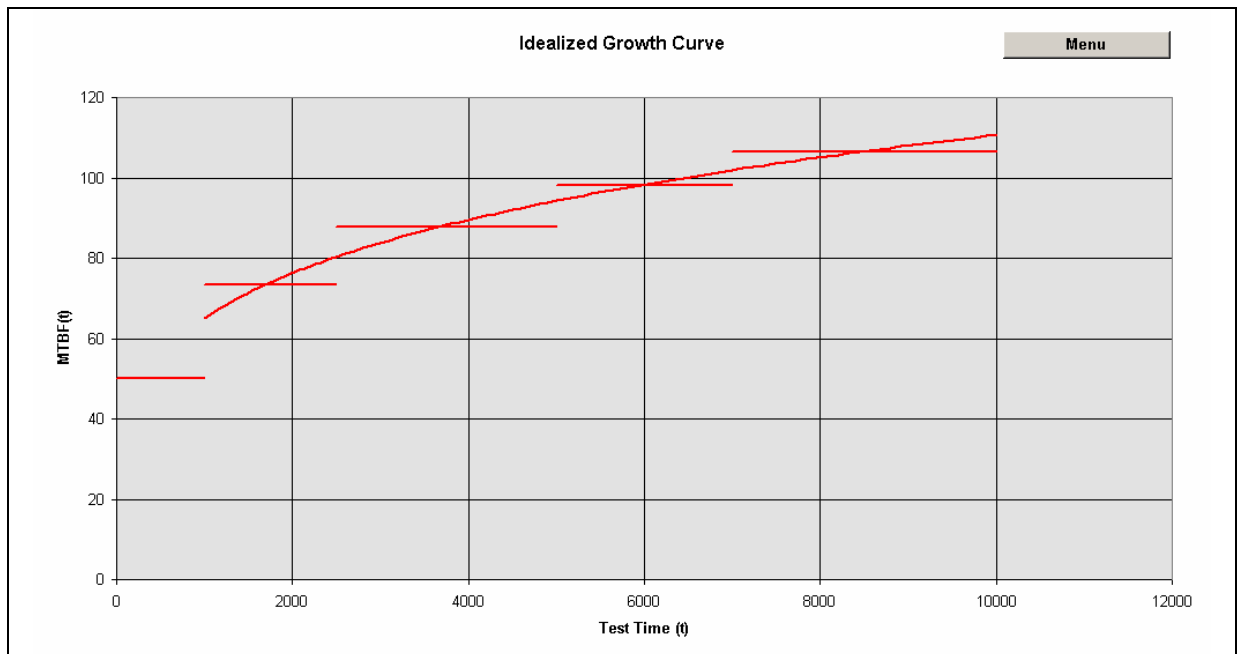


FIGURA 46 – Gráfico Típico da modelagem (não é original do projeto)

A figura 46 representa um modelo da curva do crescimento da confiabilidade, não é a curva deste estudo aplicado, pois são informações confidenciais e não podem ser publicadas. As linhas paralelas representam cada fase do período de teste ao longo do tempo com os incrementos de confiabilidade devido implementação de ações corretivas. O estudo aplicado apresentou 2 fases, divididas em fase inicial, introdução de ações corretivas e segunda fase. Devido ao objetivo de confiabilidade ter sido alcançado, não houve necessidade de mais uma geração de protótipos e as falhas detectadas durante a segunda fase de testes foram rejeitadas antes da introdução do produto, visto que não foram classificadas como falhas de alto risco dentro do *Event Review*.

Durante a fase de desenvolvimento de testes de um novo produto, é importante realizar uma avaliação apropriada dos níveis de confiabilidade, considerando os objetivos estabelecidos. A ferramenta utilizada na etapa do RSA permitiu avaliar a confiabilidade alcançada durante o desenvolvimento de testes operacionais e monitorar o progresso do programa do novo produto.

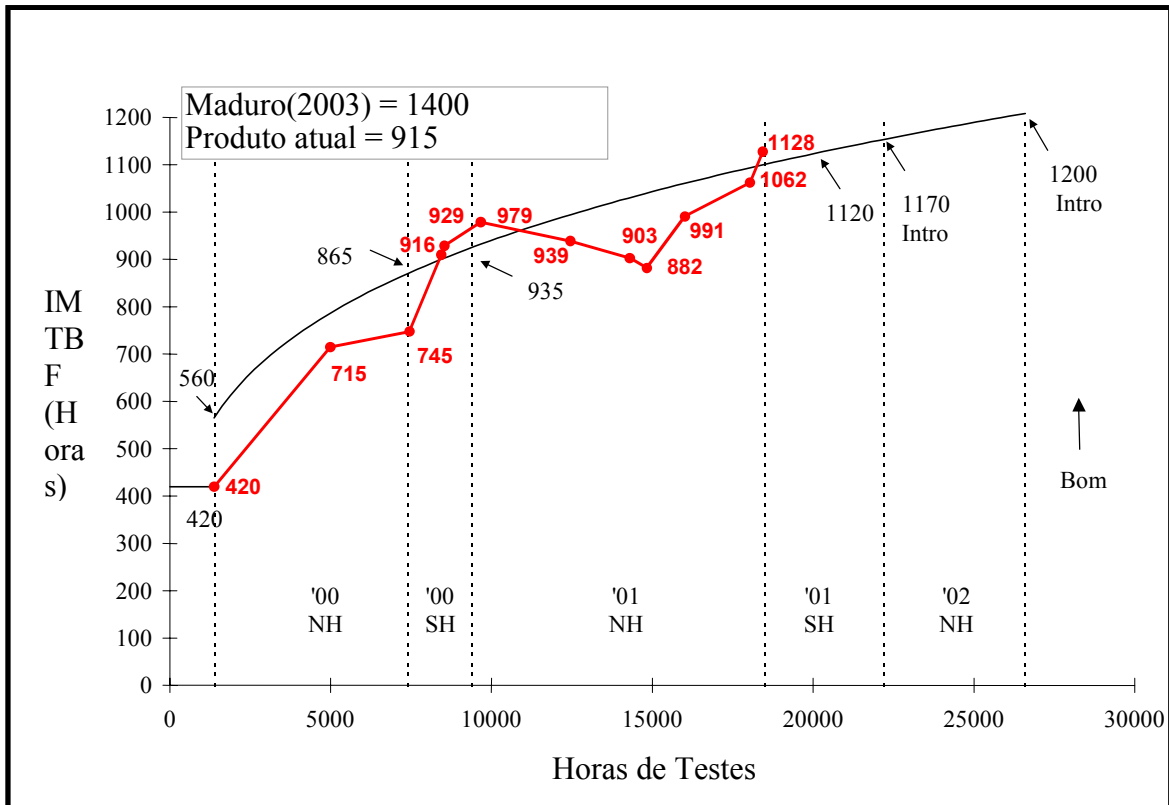


FIGURA 47 – Gráfico da modelagem e acompanhamento da confiabilidade

A Figura 47 não representa a evolução do projeto em estudo, que envolve dados confidenciais, mas ilustra como são administrados e apresentados os dados de confiabilidade. O exemplo que aparece na Figura 47 contempla um produto desenvolvido em conjunto entre Brasil e Estados Unidos, pois as fases de testes são consideradas no NH – Hemisfério Norte e no SH – Hemisfério Sul. O tempo total foi de dois anos e meio com aproximadamente 25.000 horas de testes.

#### 4.7.2.2 Análise de sistemas reparáveis – RSA

Os resultados obtidos com o RSA são o IMTBF, isto é, a confiabilidade instantânea e o CMTBF, que é a confiabilidade acumulada. A curva do crescimento da confiabilidade é representada por uma linha reta no gráfico logarítmico, e por uma curva na grade linear. O crescimento da confiabilidade depende dos recursos disponíveis para o projeto e é uma medida da habilidade de executar ações corretivas. Neste estudo aplicado a monitoração das falhas através do *Event Tracking* auxiliou no controle das atividades que originaram as ações

corretivas e suas respectivas implementações para o crescimento da confiabilidade, conforme pode ser observado nos resultados obtidos com a confiabilidade na introdução do novo produto.

Ao final da fase de teste de campo, com o total acumulado de 7500 horas de testes, o novo produto apresentou uma confiabilidade de 92% da confiabilidade do produto atual. Uma vez que a confiabilidade recomendada para a introdução de novos produtos é de 80% da confiabilidade atual (ver sessão 3.4.1.1 do capítulo 3), esse valor satisfaz as expectativas neste ponto.

A Figura 48 representa a estrutura e o fluxo do software do RSA.

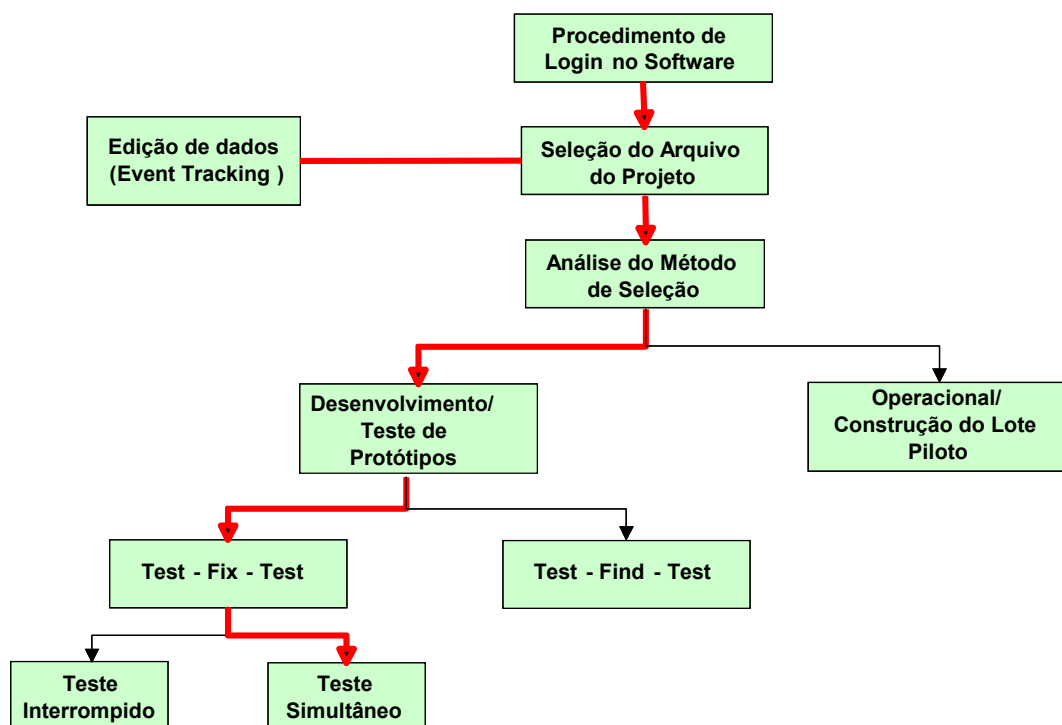


FIGURA 48 – Estrutura do Software RSA

Um produto é considerado maduro no mercado, geralmente 3 anos após a sua introdução. Decorridos 2 anos do lançamento do produto deste estudo aplicado, a confiabilidade atual é de 112% do produto anterior. O objetivo de 118% estipulados pelos especialistas tem condições de ser alcançado.



### 4.7.3 Desenvolvimento e estratégias de testes de protótipos

A finalidade do desenvolvimento de testes de protótipos é identificar e corrigir deficiências do projeto e verificar ações corretivas efetuadas anteriormente, modos de falha não detectados anteriormente e planejar ações corretivas que possam impedir ou diminuir o retorno destes problemas.

As informações analisadas dentro do software RSA são provenientes de testes de campo (sobre o protótipo), registradas dentro do banco de dados chamado de *Event Tracking System*. Este banco de dados é usado para registrar, identificar, rastrear, avaliar e documentar as situações dos protótipos com relação à satisfação do cliente e a performance do produto de projetos experimentais. Estes registros foram usados como dados de entrada para o cálculo da confiabilidade do projeto.

O *Event Tracking System* tem como objetivo identificar rapidamente as falhas e corrigi-las com antecedência, aumentando, assim, a confiabilidade do produto antes deste entrar na fase de produção. Este banco de dados é aplicável para todos os produtos da empresa em estudo, isto é, para colheitadeiras, tratores, plantadeiras e plataformas.

Os eventos de falhas experimentais são avaliados durante a fase de teste de campo. As sugestões de clientes e concessionários e dos técnicos de campo, são consideradas para ajudar no plano de ação corretiva. O *Event Tracking System* é dividido em duas partes: o *Event Entry* e o *Event Review*.

O *Event Entry* é utilizado pelos técnicos que estão acompanhando as máquinas nos testes de campo e registram informações sobre as falhas, tais como tipo de falha, hora (registrado no horímetro da máquina), circunstâncias da falha, etc. Pode também ser anexado fotos digitais para melhor ilustrar a situação. Depois de registrado o evento, este é transmitido ao final do dia para o banco de dados e o engenheiro projetista responsável por este componente ou sistema, recebe um e-mail automático do banco de dados referente ao problema ocorrido com o protótipo.

Através do *Event Review* são gerados relatórios em que é possível visualizar e adicionar informações aos registros dos eventos. Equipes multifuncionais com representantes da engenharia do produto, qualidade, manufatura e compras reúnem-se periodicamente para

discutir e reavaliar a correta codificação dos eventos registrados no campo e a necessidade de ações corretivas, e plano de verificação para as mesmas. O *Event Tracking System* armazena os seguintes tipos de informações:

- As condições durante as quais o evento ocorreu;
- Informações sobre o que aconteceu;
- Informações sobre como o evento foi resolvido no campo;
- Fotos digitais dos eventos, quando for necessário.

As informações sobre a cultura e local são muito importantes para selecionar certos tipos de falhas que ocorrem somente em determinadas aplicações. Por exemplo, uma falha específica ocorreu somente quando a máquina estava colhendo arroz e não em outras culturas, tais como a soja, milho e trigo. Os tipos de eventos são registrados no Event Tracking de acordo com a Figura 49.

CODIFICAÇÃO DOS TIPOS DE EVENTOS		
SÍMBOLO	RAZÃO	DESCRIÇÃO
+	Failure (falha, quebra)	Falha ou quebra de uma peça experimental
L	Lacking (falha de performance)	Peça experimental com performance insatisfatória (insatisfação do cliente)
P	Failure (falha, quebra/peça atual)	Falha ou quebra de peça do produto atual
C	Lacking (falha de performance/peça atual)	Peça do produto atual com performance insatisfatória (insatisfação do cliente)
Q	All other quality (outros qualidade)	Problemas gerais com qualidade nas montagens
QM	Quality (qualidade produção)	Problemas de qualidade com uma peça manufaturada
QS	Quality (qualidade fornecedor)	Problemas de qualidade com peças de fornecedores
M	Maintenance (manutenção / serviço)	Problemas com serviços ou manutenção na máquina
I	Information (informação)	Informações gerais sobre a máquina

FIGURA 49 – Codificação dos Tipos de Eventos no Event Tracking System

Na Figura 50 podem ser entendidos quais os tipos de informações disponíveis no sistema *Event Review*. Cada evento recebe um número seqüencial e as informações gerais tais como: data do evento, número da máquina e a hora na qual o evento ocorreu, além de

informações sobre o tipo de trabalho ou qual a cultura que a máquina estava colhendo e o local onde a máquina se encontrava.

No momento de calcular a confiabilidade para determinado período de teste, são selecionados somente os eventos classificados como falhas, mais especificamente quando ocorrem “quebras” ou mau funcionamento onde há necessidade de substituição de componentes.

A descrição do problema ocorrido é dividida em três partes: A primeira informa o que aconteceu, a segunda parte descreve como e em que circunstâncias o problema aconteceu e a última parte informa o que foi feito para resolver o problema naquela circunstância.

The screenshot shows the 'Event Review' web application interface. The main data entry area includes the following fields:

- Event ID:** 51434
- Machine No:** 1175-LP52
- Hours:** 209
- Crop:** Rice
- Report By:** Jonas Willian
- Date:** 03-Apr-00
- Header:** 15R-001X
- S:** 178
- Yield/Acre:** 0
- Phone:** 16
- H:** 0
- Harv Speed:** 3
- Location:** Uruguaiana - R
- Customer:** Agropecuaria C
- Function Code:** 5431
- Event Type:** +- Failure
- Event Location:** Field
- DT:**

The 'What happened?' section contains the text: 'Quebrou os suporte do alternador J57066 e J56701.'

The 'Redesign Notes' section shows a date stamp of 8/3/00 and a checked box for 'Redesign Info Exists'.

FIGURA 50 – Máscara do Event Review – John Deere

A empresa utiliza esta ferramenta como parte do planejamento de testes para o desenvolvimento de novos produtos como, o qual faz parte do Plano da Qualidade.

Conforme mencionado no capítulo 3, há duas estratégias básicas de desenvolvimento de testes que podem ser usadas para melhorar a confiabilidade de uma máquina: *Test-Fix-Test* e *Test-Find-Test*. Na estratégia *Test-Find-Test*, utilizada neste estudo aplicado, as deficiências do projeto são identificadas, mas as ações corretivas serão implementadas no final da fase de testes. A melhoria ou salto da confiabilidade é calculada e incorporada como créditos de reprojeção (quadro 1). Este método depende consideravelmente do julgamento da engenharia. A confiabilidade projetada, neste caso, não estabelece o fim dos testes, pois uma fase de teste adicional é necessária para verificar a eficácia das ações corretivas.

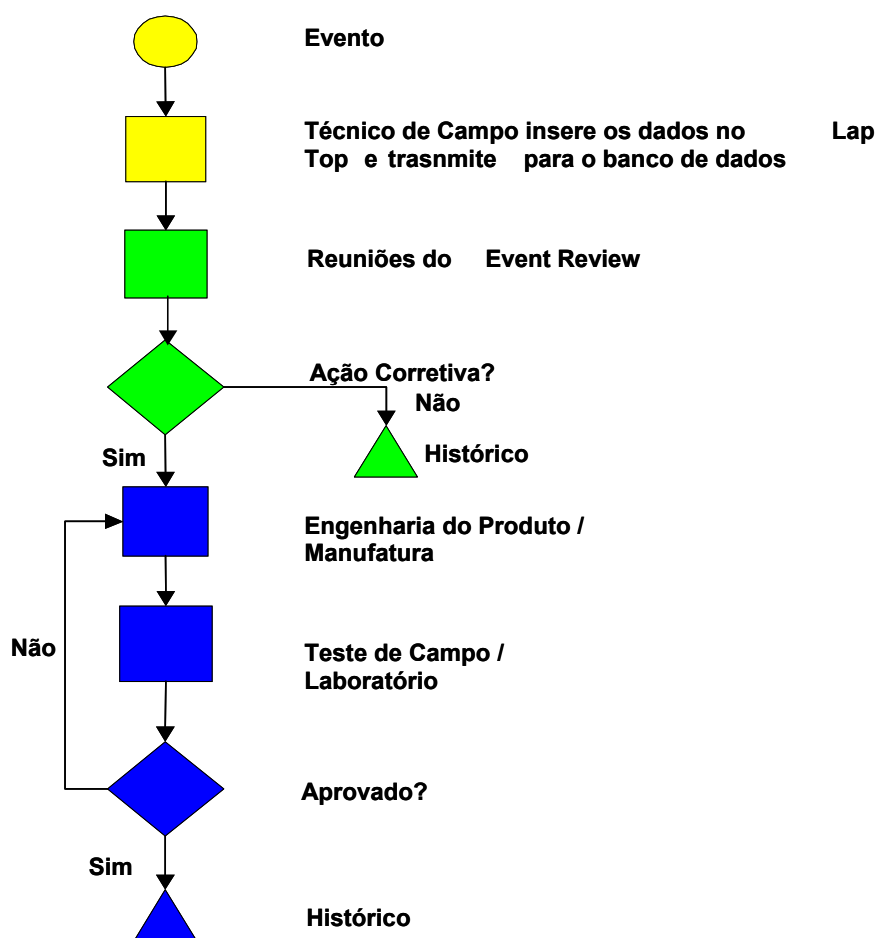


FIGURA 51 - Fluxo de Atividades do Event Tracking.

Os eventos registrados durante os testes de campos são exportados do *Event Tracking System* para um arquivo excel, onde algumas convenções são atribuídas para o início e fim dos eventos em formatação definida para rodar o *software* RSA, o arquivo excel é aberto dentro do *software* RSA onde a seleção do método de análise é definida. Os trabalhos realizados foram baseados em desenvolvimento de testes em protótipos, com objetivo em confiabilidade demonstrada e projetada utilizando a estratégia do *Test-Find-Test*. Foram

também analisadas as expectativas de custos para previsão de gastos com garantias, baseados nos possíveis modos de falhas do novo produto em que foram utilizados como base, as falhas da segunda fase de teste que foram reprojatadas e não foram testadas.

A reprodução das etapas do software não é permitida devido a direitos autorais da Deere & Company. Os gráficos dos estudos de confiabilidade referentes ao produto em que foi aplicado este estudo, não podem ser apresentados, pois retratam informações confidenciais de desenvolvimento de projeto.

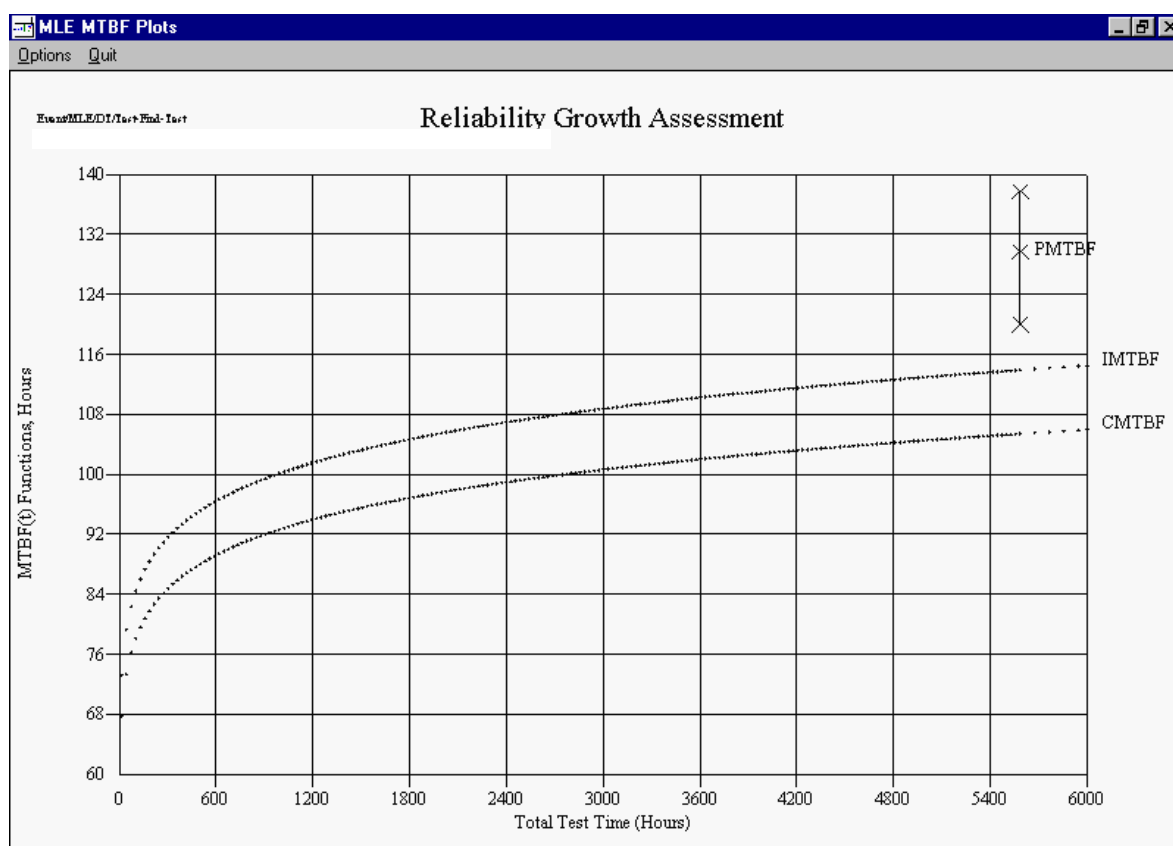


FIGURA 52 – Modelos de gráficos típicos de uma análise de confiabilidade

As informações principais que determinam se o produto está pronto para ser introduzido no mercado são obtidas com a análise do gráfico da figura 52.

A informação de CMTBF (*Cumulative Mean Time Between Failure*) é um valor que informa o total de falhas dividido pelo total de horas. O IMTBF (*Instantaneous Mean Time Between Failure*) é a confiabilidade instantânea, isto é, à medida que o tempo está passando e as falhas ocorrendo é mostrado o valor da confiabilidade em determinado instante do

programa de testes. É recomendado que o IMTBF seja sempre maior do que o CMTBF, pois isto indica que o sistema está com crescimento da confiabilidade. O contrário deve causar preocupações, pois indica que o sistema está se desviando do objetivo. O IMTBF foi a referência utilizada neste estudo aplicado.

O PMTBF (*Projected Mean Time Between Failure*) representa o sentimento dos engenheiros de projeto com relação às Ações Corretivas implementadas para o início de uma nova fase de teste, isto é, pela confiança dos engenheiros de projeto utilizando os créditos de reprojetos do Quadro 1 obtiverem o sucesso esperado, o PMTBF será a confiabilidade projetada ou esperada para a próxima fase de testes. O fator de crédito de reprojeto deve estar baseado na confiança que o problema nunca acontecerá novamente em um produto do cliente e deve ser ajustado adequadamente sob um plano de ação corretiva do modo de falha.

A Figura 53 mostra o histórico de falhas individuais de três protótipos durante um período de teste. Neste caso é importante observar a quantidade de falhas representadas pelos “x” ao longo do eixo do tempo e o total de horas de testes de cada protótipo.

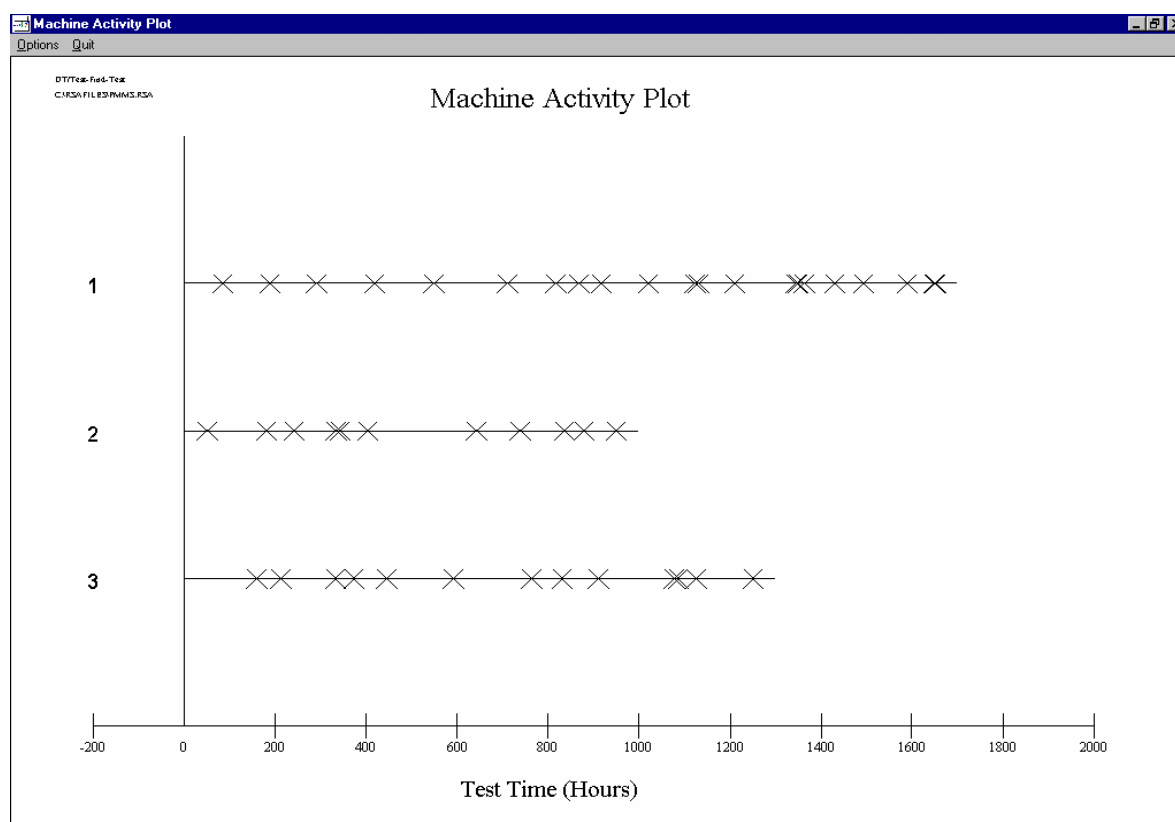


FIGURA 53 – Modelos de gráficos típicos de análise individual de falhas

A Figura 54 apresenta os mesmos três protótipos agrupados em um único sistema de falhas. Neste gráfico é possível analisar as falhas acumuladas, isto é, onde há uma maior densidade de falhas ou “x” sobrepostos. Quando ocorrem as mesmas falhas nos diferentes protótipos durante um mesmo período, pode representar que a vida útil de alguns componentes ou sistemas estejam comprometidos, manutenções inadequadas, falhas em consequência de outras falhas e até mesmo a deterioração da confiabilidade quando a quantidade de falhas for muito alta no final do período de testes.

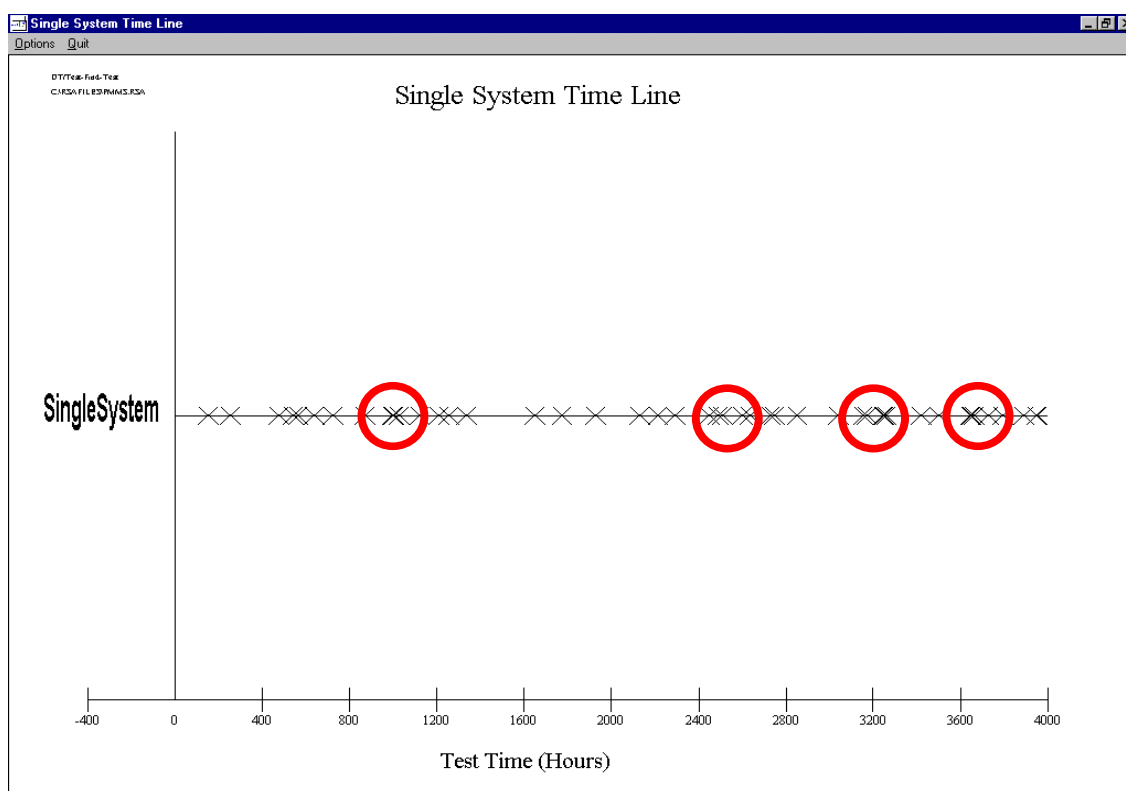


FIGURA 54 – Modelos de gráficos típicos de análise de múltiplas falhas

<b>Fator de Crédito de Reprojeto</b>	<b>CRITÉRIOS</b>	<b>Resolução Aproximada</b>
0%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nenhuma Ação Corretivo Planejada</li> <li>• Causa Fundamental ainda não identificada</li> </ul>	Identificar Causa Fundamental
10%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Causa fundamental do problema verificada, existe uma idéia de como corrigir o problema, e há plano para corrigir o problema.</li> </ul>	
25%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Correção foi projetada e completada com sucesso. Revisões de projeto e FMEA.</li> <li>• Não é um problema de projeto, uma Ação Corretiva foi planejada, documentada, comunicada e concordada. (exemplo – problemas de qualidade)</li> </ul>	Solução proposta
50%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise de projeto mostra melhoria suficiente para solucionar o problema, porém correlação com laboratório / campo, ainda não foi estabelecido.</li> <li>• <i>Hardware</i> melhorado somente com teste de laboratório. Teste pode não estar completo.</li> <li>• Hardware novo, melhorias na produção e processo verificados mas não testado em produto final.</li> </ul>	Solução verificada
75%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise de projeto com teste de laboratório e campo. Melhoria suficiente para solucionar o problema.</li> <li>• Uma amostra completou um teste satisfatório de laboratório que corresponde a teste de campo.</li> <li>• Um teste de campo com melhorias completou o equivalente de uma AAU (Média Anual de Uso) equivalente ao uso do cliente em horas sem ocorrer falhas.</li> <li>• Primeira amostra completou uma quantidade significativa de testes com verificação / validação aceitáveis.</li> <li>• Hardware produzido com Qualidade e revisão de processo</li> </ul>	Solução Implementada
90%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todas as amostras exigidas completaram verificação / validação prova definida em Planos de Testes.</li> <li>• Potencial para o modo de falha foi eliminado.</li> <li>• Provas de Erros ou outras técnicas implementadas eliminam o potencial para o problema.</li> </ul>	Confirmação
95%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teste induzido de componentes em laboratório, eliminam a possibilidade de ocorrer a falha.</li> </ul>	
100%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quando foram eliminados os modos de falhas</li> </ul>	

QUADRO 01: Diretrizes de confiabilidade por aplicar créditos de correção de reprojeto para taxa de confiabilidade ajustada



#### 4.8 Discussão da Metodologia Utilizada

Os processos de mudanças dentro das empresas sempre enfrentam barreiras culturais. A partir de 1999 a SLC – John Deere passou a ser controlada somente pela John Deere e, juntamente com esta mudança, houve a introdução de novos processos e ferramentas. O objetivo de introduzir novos processos na John Deere Brasil foi padronizar a comunicação entre as unidades da John Deere. Anteriormente, haviam outros processos sendo usados por esta Unidade. A Deere & Company – Matriz situada em Moline – Illinois – Estados Unidos, é quem pesquisa e desenvolve estes processos, sugerindo que as 39 unidades Deere espalhadas pelo mundo usem e tenham benefícios destes processos, adaptando para as suas necessidades de recursos e cultura visando que o resultado da comunicação entre as unidades e a matriz seja a melhor possível. O processo do Gerenciamento da Confiabilidade foi um processo novo implementado na John Deere Brasil.

Para essa implementação, primeiramente foi necessário que pessoas da John Deere Brasil fossem treinadas e envolvidas neste tema no PDC – Product Development Center, em Silvis - Illinois – Estados Unidos, onde se encontra o centro de engenharia da John Deere, o qual é responsável pelos projetos mundiais de Colheitadeiras e Plataformas de Corte.

Antes da utilização do processo de Gerenciamento da Confiabilidade, aplicado durante o desenvolvimento de produtos, não havia ferramenta específica para gerenciar as informações referentes a confiabilidade. As atividades de testes eram monitoradas por Engenheiros de Testes e técnicos de campo, que reportavam as falhas através de relatórios, para que a Engenharia do Produto iniciasse as correções de projetos. A comunicação entre a Engenharia do Produto, a qual era a principal responsável pelos testes de novos produtos, e as demais áreas da fábrica não era um ponto forte. O planejamento do programa de testes era baseado na experiência das pessoas envolvidas, e a confiabilidade não era quantificada na forma de MTBF. Alguns estudos haviam sido iniciados anteriormente no sentido de avaliar a confiabilidade ao nível de componentes individuais, utilizando somente informações de garantias.

Com o início das atividades do Gerenciamento da Confiabilidade, foi mostrado às pessoas envolvidas o benefício deste processo. Primeiramente, o processo facilitava o gerenciamento das informações de campo, através do uso do *Event Tracking System*. Além disso, ele auxiliava na administração do compartilhamento das informações entre todas as

áreas envolvidas, tais como: engenharia do produto, qualidade, serviços (suporte ao cliente), garantia, manufatura, marketing, compras, entre outras. A melhoria na comunicação foi de fundamental importância para as áreas envolvidas participarem e se envolverem nas ações corretivas e, assim, assumirem o compromisso de entregar um produto com confiabilidade conhecida para os clientes.

O apoio da alta administração também foi fundamental, pois todos os meses as pessoas envolvidas no projeto apresentavam o status sobre os níveis de confiabilidade e os principais problemas, isto é, quais eram as falhas mais críticas e os seus respectivos planos de ação para eliminar ou reduzir as mesmas.

Hoje os novos projetos passam pelas quatro fases do Gerenciamento de Confiabilidade por representarem uma maneira segura e fácil de administrar as informações e por estarem inseridas nas atividades do PDP – Processo de Desenvolvimento de Produto. O projeto de um novo produto não pode passar para outra fase antes que todas as atividades sejam concluídas, e entre elas estão as atividades do processo de Gerenciamento da Confiabilidade.

De modo geral, a implementação do Gerenciamento da Confiabilidade contribuiu para o estabelecimento de um processo adequado para comunicar as atividades durante o desenvolvimento de novos produtos, fornecendo informações para que a empresa possa determinar se um novo produto está pronto ou não para ser introduzido no mercado, com informações claras e objetivas de IMTBF. A principal dificuldade encontrada para a implementação deste processo foi a utilização do software RSA e do banco de dados do *Event Tracking System*, pois ambos são mantidos pela Deere & Company nos Estados Unidos no idioma inglês, o que dificultou a utilização pelos técnicos de campo. Esta dificuldade foi superada devido a vários treinamentos e o acompanhamento das Engenharias do Produto e da Qualidade.

## CAPÍTULO 5

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

#### 5.1 Conclusões

Esta dissertação teve como tema o gerenciamento do crescimento da confiabilidade. Esse tema foi discutido no âmbito do desenvolvimento de novos produtos na indústria de máquinas agrícolas em um estudo aplicado, abordando o ciclo de desenvolvimento de um produto. O objetivo principal foi melhorar a confiabilidade das colheitadeiras da série 1100 através do gerenciamento do crescimento da confiabilidade, apresentando as técnicas de gerenciamento deste crescimento utilizadas pela empresa John Deere Brasil.

Em decorrência da globalização, das mudanças cada vez mais rápidas e acentuadas, da maior exigência dos consumidores, tornou-se necessário a utilização de um processo de gerenciamento de confiabilidade na Empresa em estudo. Atualmente, com o aumento da produtividade e a queda dos preços dos produtos agrícolas, uma das formas de permanecer no mercado é fornecer aos clientes produtos confiáveis.

No capítulo 2, foi realizada a revisão bibliográfica necessária para o entendimento do tema deste trabalho, com o objetivo de estabelecer a base teórica e os conhecimentos científicos necessários para o desenvolvimento do mesmo. A literatura referente a este assunto não é abundante; portanto, este trabalho apoiou-se de forma significativa no AMSAA RELIABILITY GROWTH HANDBOOK – 1999 (*Army Material Systems Analysis Activity*), manual utilizado pelo Exército Americano no desenvolvimento de armamentos militares e no HANDBOOK of RELIABILITY ENGINEERING & MANAGEMENT (IRENSEN & COOMBS JR., 1988).

Para atingir os objetivos desta dissertação, foi apresentada uma proposta para a implementação do Gerenciamento da Confiabilidade, utilizando os modelos da Deere & Company dos Estados Unidos. Esse modelo é organizado em quatro etapas: Previsão da

Confiabilidade, Teste e Planejamento do Crescimento da Confiabilidade, Modelagem do Crescimento da Confiabilidade e Análise de Sistemas Reparáveis. Anteriormente à implementação destas ferramentas, os estudos de confiabilidade na empresa em estudo, eram somente dirigidos a nível de componentes e baseados em informações de garantia.

Em seguida, o uso dessa metodologia foi apresentado e discutido, através de um estudo aplicado. O estudo aplicado abordou o desenvolvimento do projeto de uma colheitadeira de grãos da série 1100 John Deere, onde os resultados obtidos foram apresentados através da análise do IMTBF (*Instantaneous Mean Time Between Failure*).

Os resultados obtidos com a implementação da metodologia de gerenciamento da confiabilidade permitiram que a alta administração – gerentes e diretores – decidisse, juntamente com os responsáveis pelo projeto, o momento certo de lançar o novo produto no mercado, tomando como referência o objetivo da Confiabilidade Inicial - estabelecido no início do projeto - e a expectativa do cliente.

De modo geral, a implementação do Gerenciamento da Confiabilidade contribuiu para o estabelecimento de um processo adequado para comunicar as atividades referentes à confiabilidade e ações corretivas durante o desenvolvimento de novos produtos, fornecendo informações para que a empresa possa determinar se um novo produto está pronto ou não para ser introduzido no mercado, bem como no incremento significativo do IMTBF em 12% no número de horas trabalhadas entre cada ocorrência de falhas, indo de encontro com o objetivo principal deste trabalho.

## **5.2 Sugestões Para Trabalhos Futuros**

Este trabalho pode ser aprimorado através do desenvolvimento de uma melhor interação entre o software RSA e o banco de dados do Event Tracking System. Os dois sistemas poderiam ser unidos dentro de um mesmo aplicativo, fazendo com que, no momento de inserir os problemas ou as falhas de campo, já fosse identificado o modo de falha e atualizadas as respectivas taxas de falha.

As falhas ocorridas na fase que antecede o lançamento de um novo produto, onde as mesmas foram reprojatadas e sem tempo suficiente para teste de campo, acabam gerando no

futuro, gastos com garantia. Estas informações podem servir para um estudo mais aprofundado em análises de garantia.

Outra sugestão para trabalhos futuros é referente às falhas detectadas na última fase de testes que tiveram suas ações corretivas implementadas, mas sem a confirmação de testes de campo, poderiam ser monitoradas através de testes de laboratório utilizando o modelo de Weibull como ferramenta de análise de confiabilidade. Isto contribuiria para confirmar a eficácia dos reprojatos que não foram testados no campo e poderia antecipar possíveis ações corretivas antes que o produto chegasse ao cliente.

## REFERÊNCIAS

- BROEMM, W. J.; ELLNER, P. M.; WOODWORTH, W. J., 1999. **AMSAA Reliability Growth Handbook**. AMSAA, (Army Materiel Systems Analysis Activity)
- ERICKSEN, P. D.; 1997. **Reliability Manual: John Deere Harvester Works**, Moline, Illinois – US.
- IRESON, W. G.; COOMBS JR, C. F., 1988. **Handbook of Reliability Engineering and Management**. McGraw-Hill.
- LLOYD, D. K.; LIPOW, M., 1984. **Reliability: management, methods, and mathematics**. Milwaukee, Wisconsin – US: The American Society for Quality Control.
- Crow, L. H., **Reliability Analysis for Complex Repairable Systems**, 1974. F. Proschan and R. J. Serfling, Philadelphia, pp. 379-410.
- Crow, L. H., **Reliability Growth Projection From Delayed Fixes**, 1983. Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp. 84-89.
- Crow, L. H., **Reliability Growth Management, Models, and Standards**, 1996 Annual Reliability and Maintainability Symposium, Tutorial Notes.
- Crow, L. H., **Evaluating the Reliability of Repairable Systems**, 1990 Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp. 275-279.
- Department of Defense, Military Handbook 189, **Reliability Growth Management**, Philadelphia: Naval Publications and Form Center, 1981.