

# Implementação de cálculo de confiabilidade para determinação da garantia de um novo produto

## *Implementation of reliability calculation to determine the warranty of a new product*

Mônica Pasolini<sup>1</sup> - Universidade de Caxias do Sul - Faculdade de Engenharia de Produção

Gilberto Tomasi<sup>2</sup> - Universidade de Caxias do Sul - Faculdade de Engenharia de Produção

Gabriel Vidor<sup>3</sup> - Universidade de Caxias do Sul - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

### RESUMO

O presente trabalho abordou a proposta de implementação do cálculo de confiabilidade para determinar a garantia de um componente mecânico, utilizado na lavadora de garrafas. Para tanto foram utilizados os conceitos de confiabilidade, taxa de falhas, distribuição de Weibull e testes acelerados. Foram realizadas cinco etapas para o desenvolvimento do estudo. Na primeira etapa foram analisados os materiais e os processos de fabricação dos componentes, para verificar quais variáveis poderiam levar o produto a ter falhas. A segunda fase foi da realização do teste de tração em um laboratório de ensaios mecânicos, certificado pela norma NBR ISO 17025, a fim de verificar o comportamento dos materiais. A terceira etapa foi a definição da variável e o método para simulação da confiabilidade no *software* Minitab 17. A quarta e quinta etapa foi a análise dos dados obtidos na simulação e no teste acelerado de fadiga. Ao final das análises dos resultados observou-se que o componente mecânico está superdimensionado em relação ao tempo de garantia oferecido pela empresa, isso evidencia a qualidade e a confiabilidade dos processos de fabricação e também permitiu a introdução de uma nova ferramenta para determinação da garantia dos produtos, que atualmente é pouco utilizada nas empresas. Como trabalhos futuros sugere-se que a empresa realize o cálculo de confiabilidade dos componentes estratégicos dos produtos que fornece, fazendo dessa forma a melhoria contínua de seus produtos.

**Palavras-chave:** Confiabilidade. Componente mecânico. Garantia.

### ABSTRACT

*This paper aims to propose an implementation of reliability calculation to measure the reliability of a mechanical component, used in the bottle washer machine. For that purpose, the concepts of reliability, fault rate, Weibull distribution and accelerated tests were used. Five steps were taken to develop the study. In the first stage, the materials and manufacturing processes of the chain components were analyzed to verify which variables could lead to product failure. The second phase was the performance of the traction test in a laboratory of mechanical tests, certified by the standard NBR ISO 17025, in order to verify the behavior of the materials. The third step was the definition of the variable and the method for simulation of reliability using Minitab 17 software. The fourth and fifth stages were the analysis of the data obtained in the simulation and in the accelerated fatigue test. At the end of the analysis of the results, it was observed that the mechanical component is oversized in relation to the guarantee time offered by the company. This shows the quality and reliability of the manufacturing processes and also allowed for the introduction of a new tool to determine the guarantee of the products, which is currently little used in companies. For future work, it is suggested that the company perform the reliability calculation of the strategic components of the products it provides, thus making continuous improvement of its products.*

**Keywords:** Reliability. Mechanical component. Warranty.

1. Rua Quintino Bocaiuva, 1120, apto 302, Petrópolis, 95070-680, Caxias do Sul-RS, monipasolini@hotmail.com; 2. gilbertotomasi@hotmail.com;

3. gvidor@ucs.br

PASOLINI, M.; TOMASI, G.; VIDOR, G. Implementação de cálculo de confiabilidade para determinação da garantia de um novo produto. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 15, nº 1, jan-mar/2019, p. 156-175.

DOI: 10.15675/gepros.v14i1.2087

## 1. INTRODUÇÃO

Conforme Pizzolato, Caten e Fogliatto (2005), para manter seus produtos no mercado com níveis demandados de qualidade, empresas industriais necessitam de ferramentas eficazes para o desenvolvimento e otimização de produtos. Para tanto, o prazo de garantia de um produto é um dos fatores que determinam a escolha no momento da compra. A garantia de um novo produto pode ser estimada por meio das ferramentas da Engenharia da Confiabilidade. A confiabilidade é explicada por Fogliatto e Ribeiro (2009) como a associação à operação bem-sucedida de um produto ou sistema, sem presença de falhas ou quebras. Nesse sentido, a confiabilidade de um sistema é a probabilidade de que, quando em operação sob condições ambientais estabelecidas, o sistema ou produto apresentará um desempenho desejado para um intervalo de tempo especificado (PIAZZA, 2000).

A confiabilidade é definida por Fernandes (2010), como a probabilidade de um produto ou serviço operar corretamente durante um especificado período de tempo, sob condições de operação e sem apresentar falhas. Dessa forma, Elsayed (1996) mostra que a confiabilidade pode ser utilizada como uma medida de sucesso na operação de um sistema, ou produto, ou serviço. A norma ABNT NBR 5462:1994 apresenta o conceito de confiabilidade como sendo a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo. Assim, a confiabilidade é apresentada como uma ferramenta utilizada para determinar o tempo até a falha dos produtos e na melhoria de prevenção aos mecanismos de falhas, pois os consumidores esperam que os produtos adquiridos funcionem como anunciado pelo fabricante. Falhas resultam na insatisfação dos consumidores e elevação de custos com modificações de projetos, processos de fabricação, reparos e aumento dos custos de garantia (DROGUETT; MOSLEH, 2006).

A determinação da garantia define o tempo de funcionamento do produto e determina a disposição imediata de peças de reposição aos clientes. Com maior tempo de garantia e peças de reposição imediatas a empresa terá destaque entre os concorrentes. Desta forma, a garantia é consequência de um programa de confiabilidade adequada, o nível de confiabilidade de um produto determina o período de garantia. A garantia valida a confiabilidade de um produto e pode ser interpretada como um referencial na escolha dos produtos (DOS SANTOS, 2008).

Na empresa em estudo não existe um sistema de confiabilidade para prevenção de falhas dos produtos. A qualificação dos profissionais que trabalham

nos processos produtivos é realizada a cada dois anos como uma forma de manter a qualidade durante a fabricação dos produtos. Na engenharia do produto há constantes mudanças de matéria prima, dimensional das peças, porém sem registros do porquê da mudança. Por tanto, a implementação de um sistema de confiabilidade na empresa durante o desenvolvimento de um novo produto para determinação da garantia é uma forma de conter registros e informações detalhadas do produto e sobre estes dados fazer a melhoria contínua do mesmo. Um programa de confiabilidade para Dos Santos (2008), visa sistematizar os conhecimentos prévios de desempenho desde a fase de teste até observações de desempenho real, permitindo estabelecer inferências posteriores sobre a vida de um produto e que venham a fortalecer a relação produtor - comprador.

Por ser um novo produto desenvolvido na unidade do Brasil, a determinação do tempo maior de garantia em relação aos concorrentes será importante para conquistar novos mercados, pois o objetivo não é apenas produzir este item para ser componente das máquinas, ou reposição do item nas máquinas produzidas pela empresa, mas também ser fornecedor para as máquinas dos concorrentes devido o tempo maior de vida útil. Conforme Dos Santos (2008), analisar a confiabilidade implica, automaticamente, poder dimensionar a garantia, numa relação de custo benefício que possa dar maior competitividade a um produto diante de seus similares. Outro ponto a destacar, é que o produto em estudo é colocado à venda em leilões e com o tempo de garantia sendo determinado pelas ferramentas da confiabilidade será um diferencial para conquistar os consumidores. Segundo Dos Santos (2008), quando compradores pensam sobre o termo confiabilidade, eles associam sentimentos de credibilidade, fidelidade e segurança a empresa e produto desejado.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Martins, Werner e Pinto (2010), estimaram a confiabilidade de um produto fictício, não reparável, estruturado em série e com dados censurados. Foram avaliados três modos de falha: i) durante a produção; ii) no cliente ou durante a produção; e iii) apenas utilizando o produto no cliente. Foram determinadas as distribuições de probabilidade que mais se adequavam aos modos de falha. A análise da confiabilidade foi feita através da simulação de Monte Carlo, com um total de 10.000 simulações utilizando o Excel e a interface @RISK. A confiabilidade média do produto ( $R_t$ ) nos dados de saída resultou em 0,1388, que é o resultado da multiplicação em cada uma das simulações das confiabilidades calculadas em cada modo de falha. A partir da análise de sensibilidade das si-

mulações de Monte Carlo, verificou-se que a falha no cliente é a que mais tem influência, o que pode prejudicar a imagem da empresa e aumentar os custos de garantia.

Pizzolato, Caten e Fogliatto (2005) realizaram um estudo com aplicação de um método sensorial de otimização experimental e determinação do tempo de garantia de um piso plástico. O trabalho foi dividido em cinco etapas: i) caracterização do problema; ii) planejamento e execução do experimento; iii) modelagem das variáveis de resposta; iv) otimização e; v) modelagem da vida útil. Utilizou-se a matriz QFD para identificar quais as características de qualidade seriam avaliadas nos testes, após foram determinados os quatro parâmetros de processo prioritários para investigação. Os dados de vida útil do produto foram modelados em função do fator de estresse, por análise de regressão. O produto foi submetido em um dispositivo para acelerar o processo de degradação por atrito. Os níveis de estresse foram 20, 63 e 317 minutos, que correspondem respectivamente a 115, 365 e 1.875 dias. As amostras de degradação foram avaliadas visualmente por especialistas (análise sensorial) comparando a uma peça padrão. O prazo de garantia definido para o piso após os resultados e análises dos testes foi de 2 anos.

No estudo de Braile e Andrade (2013), foram utilizadas as ferramentas FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falhas) em nove máquinas de costura industrial utilizadas em produtos constituídos por fibras têxteis e couro. Os dados de falha foram coletados por um período de vinte e seis semanas, de abril a setembro de 2012. A partir destes dados verificou-se que a maior quantidade de falhas registradas era da linha arrebitada tendo por causa principal a agulha com rebarba. O maior valor de risco (NPR) foi encontrado na máquina 02 e 06. Foi realizado o teste de aderência e verificou-se que a distribuição Weibull é a que melhor se ajustava aos dados. Com a análise foi verificado que a máquina 02 encontrava-se na fase de vida útil e a máquina 06 na fase de mortalidade infantil da curva da banheira, ocorrendo uma falha a cada 22 dias. Para finalizar o estudo os autores determinaram a taxa de falha de 26 semanas para as duas máquinas e calcularam o novo valor de risco (NPR) para a causa agulha com rebarba e determinaram a prioridade de manutenção destes equipamentos.

Martins e Werner (2010) analisaram as falhas do produto alto-falante do tipo subwoofer 550 Wrms ao longo do calendário para tamanho de amostras iguais e para tamanhos de amostras diferentes, utilizando o estimador não paramétrico de Kaplan-Meier. Para a análise dos dados foi utilizado o *software* Minitab, versão 15. O produto é considerado não reparável e os dados foram analisados num período de 26 meses e agrupados em 12 meses que é o tempo de garantia oferecido pela empresa fabricante. Os dados foram obtidos por mês

em que foram manufacturados e dados de retorno de campo agrupados pelo mês que retornaram. Foi comparada a curva de confiabilidade para tamanho de amostras iguais com a de amostras de tamanhos diferentes para cada idade do produto. O resultado apresentou diferença significativa. A conclusão é que a melhor análise é feita quando o tamanho das amostras é igual para cada idade do produto, estimada em meses. O maior número de falhas é registrado na idade adulta, entre o quarto e o décimo primeiro mês, ou seja, é onde há oportunidades de melhoria no produto.

O estudo feito por Dantas et al. (2010) analisou uma amostra de dados sobre ocorrências de falhas de poços da Petrobrás localizados entre o Rio Grande do Norte e Ceará através do ajuste de um modelo de regressão Weibull. Os dados sobre falhas de poços de petróleo foram analisados no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2006, esses dados são referentes aos poços terrestres e produtores de óleo, que utilizam o método de elevação BM ou BCP. Considerou-se o poço coluna como um conjunto de itens em série e a falha de um único item implica na falha do sistema. Realizou-se a técnica de amostragem aleatória estratificada e as variáveis para definir os estratos foram: i) profundidade da bomba; ii) método de elevação e; iii) dois ativos de produção. Foram realizadas as estimativas com as amostras pelo método Kaplan-Meier para cada covariável. Observou-se que os poços com método de elevação BM são mais duráveis que os BCP. Os poços com alta produção tendem a apresentar menor tempo de falha em relação aos menos produtivos. Os poços com a bomba localizada em maior profundidade levam mais tempo até apresentar a primeira falha.

Estas exemplificações são necessárias para a associação com o ambiente em estudo. A empresa em estudo não possui a gestão de confiabilidade para prevenção de falhas dos produtos. Ela melhora seus produtos através de mudanças de matérias primas, dimensional de peças, mas sem registrar o porquê da alteração. Para manter a qualidade de seus produtos a empresa também investe na qualificação dos funcionários que trabalham nos processos produtivos. A implementação de um sistema de confiabilidade na empresa para determinar a garantia de um novo produto é a maneira mais correta de definir qual é a variável que tem maior probabilidade de falha e posteriormente fazer a melhoria contínua de seus produtos.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi implementar um cálculo de confiabilidade para modelar a garantia de um componente mecânico de máquinas, utilizado na lavadora de garrafas. Para atingir o objetivo foram realizadas as seguintes etapas: i) verificação das especificações do produto desenvolvido; ii) determinação das variáveis que podem levar o produto a ter falhas; iii) de-

terminação do sistema de confiabilidade; iv) simulação do modelo matemático para cálculo do tempo de falha e tempo de garantia do produto e; v) realização de testes acelerados e comparação com os resultados da simulação.

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com o presente trabalho buscou-se verificar se o tempo de garantia oferecido pela empresa para um componente mecânico do sistema de transmissão da lavadora de garrafas é viável. Essa garantia foi avaliada por meio da implementação do cálculo de confiabilidade. Desta forma, o trabalho tem uma abordagem quantitativa, na medida em que é realizada a aplicação de modelos de confiabilidade para a resolução do problema. Além disso, pode ser classificada como uma pesquisa de natureza casual, visto que estabelece a relação entre os valores variáveis de confiabilidade e seus efeitos sobre a garantia do produto.

Com isso, o presente trabalho utiliza o método de estudo de caso para concluir seu desenvolvimento. Para Yin (2001), o estudo de caso pode ser classificado tanto por seu conteúdo quanto pelo seu propósito final ou ainda pela quantidade de casos (caso único – holístico ou incorporado ou casos múltiplos – também categorizados em holísticos ou incorporados). Existe uma predisposição destes tipos de estudo para que eles justifiquem o motivo pelos quais as decisões foram tomadas, bem como parâmetros de implementação e resultado final. Portanto, para atingir o objetivo deste trabalho foram definidas cinco etapas que definem os procedimentos que serão desenvolvidos no estudo. As etapas do trabalho estão listadas na Figura 1.

A primeira etapa consiste em conhecer o produto em estudo, ou seja, os itens que formam o componente mecânico do sistema de transmissão da lavadora de garrafas. Nessa etapa foram conhecidos os processos produtivos e as especificações técnicas de cada componente, pois cada item foi desenvolvido especialmente para atender os requisitos de funcionamento do produto.

Na segunda etapa foram analisadas as variáveis que poderiam levar o produto a ter falhas, por meio do conhecimento técnico dos setores de Engenharia do Produto e de Engenharia de Processos. Foi definida uma variável principal que faz com que o componente falhe e deva ser substituído em partes ou por completo na lavadora de garrafas. Para auxiliar na tomada de decisão dessa variável foi realizado um teste de tração para analisar o comportamento dos componentes do produto quando aplicado uma força maior que a força real de trabalho.



Figura 1 – Etapas do método de trabalho.



Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

A etapa 3 foi o momento de escolha do sistema de confiabilidade adequado para determinar a garantia do produto. O componente mecânico do sistema de transmissão da lavadora de garrafas foi tratado como um produto único para simulação da confiabilidade. Então, foi definida qual distribuição de probabilidade deve ser utilizada na simulação da confiabilidade. Essa definição foi feita com base na teoria da confiabilidade.

Na quarta etapa foram simuladas as distribuições de probabilidade da característica definida na etapa 2 e na etapa 3 para o produto, com auxílio dos *softwares* Excel e Minitab 17. Foram analisadas as taxas de falhas e a confiabilidade do produto em períodos estratégicos de funcionamento do componente mecânico do sistema de transmissão da lavadora de garrafas. Através da simulação, o produto foi enquadrado em uma das fases da curva da banheira e posteriormente analisado se o tempo de garantia que a empresa oferece é viável ou não.

O ciclo de análise proposto visa determinar o tempo de garantia do componente mecânico utilizado na lavadora de garrafas e oferecer para a empresa conclusões a respeito do produto. A realização das etapas em forma cíclica é para sequenciar as etapas de implementação do cálculo de confiabilidade, que atualmente não é feito na empresa e viabilizar ou não o tempo de garantia oferecido.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Descrição do caso

Um dos componentes do sistema de transmissão da lavadora de garrafas foi desenvolvido na unidade do Brasil no primeiro semestre de 2016. Anteriormente era fabricado na unidade da Argentina e a unidade do Brasil utilizava nas lavadoras produzidas aqui. Portanto, foram realizados novos estudos de materiais, métodos e processos de fabricação do mesmo, viabilizando o desenvolvimento de um novo produto na empresa, com novas especificações e características de fabricação. Para conquistar novos mercados o prazo inicial estimado de garantia foi de cinco anos (trazendo um diferencial para o mercado), porém não foi feito um estudo de confiabilidade para determinação deste tempo. Portanto, este trabalho avaliará esse contexto e determinará o tempo de garantia do produto através da implementação do cálculo de confiabilidade.

#### 4.1.1. Análise dos materiais e de processos de produção

Para chegar às condições determinadas pela direção da empresa de colocar no mercado um produto diferenciado com cinco anos de garantia, foi iniciado no final de 2015 o desenvolvimento do produto pelo setor de Engenharia do Produto e pela Engenharia de Processos, pois o produto utilizado até o início do ano de 2016, que era fabricado na Argentina, acarretava em muitas intervenções do setor de assistência técnica (serviços). O histórico dos clientes apontava evidências de deformação nos encaixes do pino e da bucha como fatores principais de desgaste e de solicitações de troca do produto.

Para analisar o comportamento dos materiais selecionados para esta aplicação foram feitas diferentes amostras do componente mecânico do sistema de transmissão da lavadora de garrafas pela Engenharia do Produto. Estas amostras foram submetidas a testes no laboratório de ensaios mecânicos da Universidade de Caxias do Sul, certificado pela norma NBR ISO 17025, para analisar o melhor material para cada componente do produto em estudo.

A partir dos resultados dos testes determinou-se que os materiais testados não atenderiam as especificações para o tempo de garantia ser de cinco anos. Com isso, buscou-se no mercado alternativas de materiais e de processos que fizessem o produto ter este diferencial e ao mesmo tempo o custo benefício para a empresa.



A partir do desenvolvimento e fabricação dos novos componentes, com materiais e processos que garantiram as medidas dentro das tolerâncias, foi realizado o teste para analisar as possíveis variáveis que poderiam acarretar no desgaste prematuro do produto. A principal proposta deste projeto foi de fabricar um componente, que através de suas características técnicas pudesse retardar por um longo período o início do desgaste, aumentando assim a vida útil do equipamento.

#### 4.1.2. Definição da variável para simulação da confiabilidade

Foi realizado um teste de tração, com a amostra dos novos componentes, para verificar se os materiais atendiam os requisitos de durabilidade. A partir das análises foi definido que a variável para simulação do sistema de confiabilidade devia ser o alongamento máximo dos componentes, ou seja, o tempo de funcionamento do produto em anos, foi a variável para simular o sistema de confiabilidade no *software* Minitab.

#### 4.2. Definição do método de simulação da confiabilidade

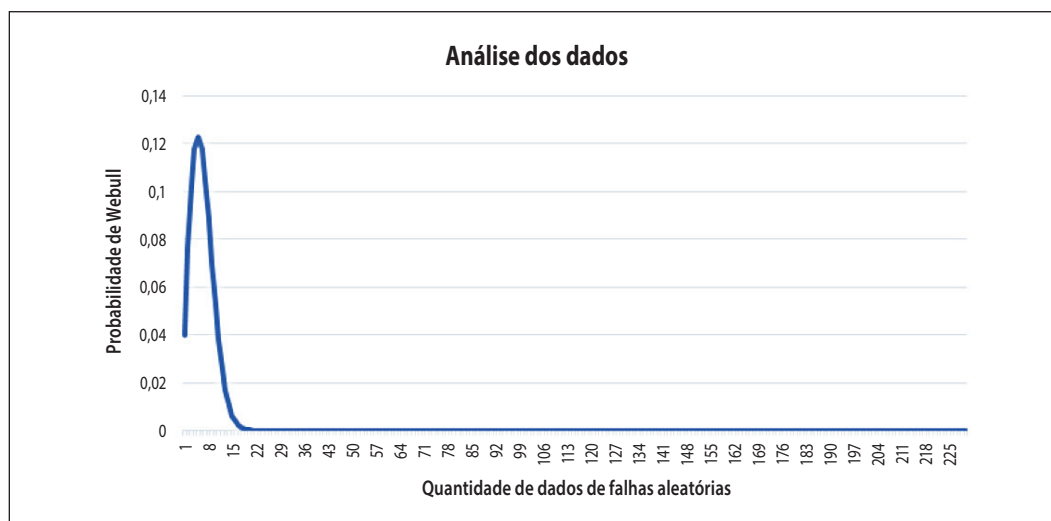
Como o estudo trata de um produto lançado e produzido no ano de 2016, com garantia estimada de cinco anos, não há dados de retorno de falhas. Por isso, para simular a confiabilidade do produto foram gerados dados aleatórios no Excel. Os dados foram gerados a partir da análise da quantidade de ciclos de funcionamento da lavadora, considerando que a lavadora de garrafas opere 25 dias por mês e 11,3 meses por ano, com um intervalo de 1,5 a 8 anos, ou seja, foram supostas falhas do correntão nesse intervalo de tempo. O cálculo do intervalo para geração de dados no Excel é mostrado na Tabela 1, foram gerados um total de 230 dados nesse intervalo. Os dados foram gerados usando a função aleatório do Excel dentro do intervalo de 1,5 a 8 anos (como havia sido proposto pelo trabalho). Foi feita a análise de Weibull para ver se os dados se ajustavam a esta análise de probabilidade, utilizando a função Weibull também do Excel. O gráfico da Figura 2 mostra que os dados ficaram ajustados à distribuição.

Tabela 1 – Quantidade de ciclos do componente mecânico.

| Ciclos por min | Ciclos por hora | Ciclos por dia (considerando 24 h trabalhando) | Ciclos por mês (considerando 25 dias tirando domingo) | Ciclos por ano (considerando 11 meses e 10 dias) | Ciclos por ano (intervalo para geração dos dados aleatórios) |          |
|----------------|-----------------|--|---|--|--|----------|
| 28             | 1.680           | 40.320   | 1.008.000   | 11.420.640                                       | 17.130.960   | 1,5 anos |
|                |                 |  |   |  | 91.365.120   | 8 anos   |

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Figura 2 - Gráfico da análise da distribuição de Weibull.



Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Os dados gerados no Excel foram exportados para o *software* Minitab 17, versão em inglês, que faz análises estatísticas de qualidade, confiabilidade. Para a análise da confiabilidade do produto em estudo foram utilizadas as seguintes ferramentas do *software*:

- Distribution analysis (right censoring)*, para fazer a análise da distribuição de Weibull e como ela se ajustava aos dados e encontrar o parâmetro  $\gamma$  (no *software* ele tem nome *shape*) e indica em qual fase da curva da banheira o produto está. Também foi encontrado o parâmetro *scale*;
- Probability distribution plot* para analisar a confiabilidade e a taxa de falhas do produto ao longo do tempo.

Para fazer a análise no Minitab 17, os dados gerados aleatoriamente no Excel foram colocados na coluna C1 da planilha de trabalho do Minitab. Foi necessário fazer a censura dos dados, colocando uma coluna de números 1 na coluna C2 e ao final das colunas C1 e C2 foi colocado o número 0 utilizado como censor. Sobre o censor, quando se realiza a análise de confiabilidade é verificada a performance de alguma coisa ao longo de um período, nesse caso os ciclos de funcionamento do correntão, sendo assim na função de right censor (censura a direita), significa que ainda pode existir mais dados (exemplo produto não falhou), mas em muitas vezes não é possível realizar uma quantidade grande de amostras para deixar rodando até todas falharem, sendo assim um “recurso” de se fazer no Minitab é colocar o 0 na última linha da coluna C2 para indicar que ele deve considerar os dados até aquele momento e ignorar (mas que existem) dados à direita censurados. Na Figura 3 é mostrado a parte final dos dados analisados no Minitab, sendo a coluna C1 dos dados da quantidade de tempo (anos) em que houve a falha do produto e a última linha da coluna C2, que é 0, é o censor.

Figura 3 – Análise dos dados.

| ↓   | C1    | C2 |
|-----|-------|----|
| 222 | 7,773 | 1  |
| 223 | 7,801 | 1  |
| 224 | 7,830 | 1  |
| 225 | 7,858 | 1  |
| 226 | 7,886 | 1  |
| 227 | 7,915 | 1  |
| 228 | 7,943 | 1  |
| 229 | 7,972 | 1  |
| 230 | 8,000 | 1  |
| 231 | 0,000 | 0  |

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

### 4.3. Resultados das simulações

Para poder simular a confiabilidade do produto, foi analisada a distribuição de Weibull para modelagem de tempos até a falha no *software* Minitab. A análise foi feita pela *distribution analysis (right censoring)*, onde foram encon-

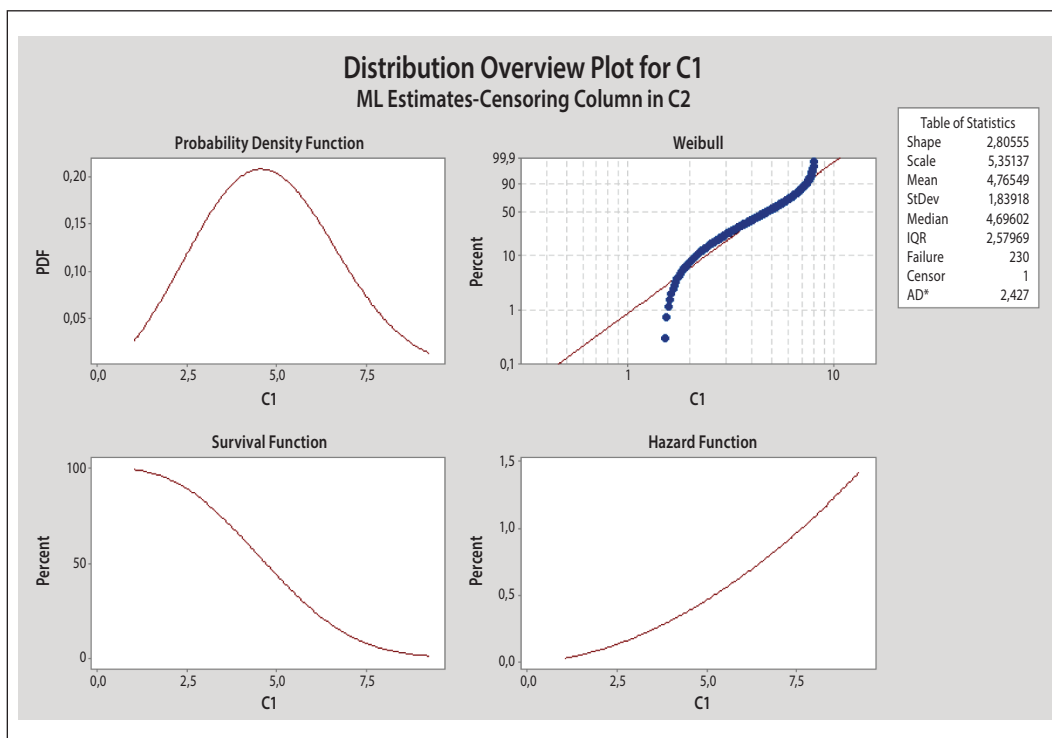
trados os parâmetros  $\gamma$  (*shape*) e o *scale* para posterior análise da confiabilidade. Os gráficos gerados são mostrados na Figura 4, sendo que:

- a) 1º gráfico: mostra a curva normal de densidade (PDF), isso significa que todos os dados estão dentro da área abaixo da curva isso ocorre quando é aplicada a integral de  $f(x)$  para a função de confiabilidade. Cada dado gerado terá um peso (assim pode-se dizer) e quando é solicitado a confiabilidade por um determinado intervalo (tempo, ciclo e etc) a PDF devolverá a probabilidade do evento ocorrer. Para ter o intervalo da confiabilidade ou a taxa de falhas foi utilizada a *probability distribution plot*;
- b) 2º gráfico: CDF, ou seja, a derivada da PDF, a qual traz os dados em forma linear, onde a inclinação curva é dada pelo  $\gamma$  (*shape*);
- c) 3º gráfico *Survival Function*: é o comportamento da confiabilidade ao longo do período (tempo, ciclo, etc.), como pode-se notar o gráfico reduz ao longo do tempo de funcionamento do componente mecânico, ou seja, a confiabilidade do produto diminui;
- d) 4º gráfico *Hazard Function*: mostra o comportamento de falhas, ou seja, o inverso da confiabilidade, no gráfico a curva tende a aumentar ao longo do período, ele mostra que o comportamento das falhas é por desgaste, ou seja, o produto é enquadrado na curva da banheira onde a falha é por envelhecimento, isso também é mostrado quando foi encontrado o parâmetro  $\gamma = \text{shape} = 2,80555$  como ele é maior que 1 as falhas são crescentes. Este cenário é típico de produtos que falham por desgaste, e indica falha por fadiga após um determinado tempo.

Para conhecer a confiabilidade do produto através da simulação foi utilizada a *probability distribution plot*, onde na primeira janela mostrada na Figura 5, foram colocados os parâmetros *shape* e *scale* encontrados e explicados anteriormente, para posterior análise da confiabilidade na segunda janela da Figura 5. Nesta janela é possível escolher pela análise da confiabilidade ou da taxa de falhas colocando o número de ciclos ou a confiabilidade que se quer saber.

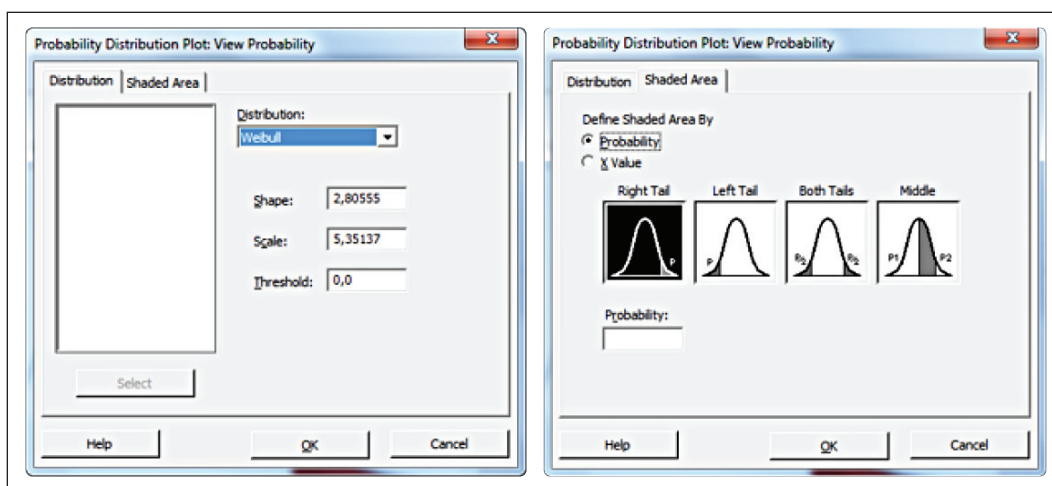
A primeira análise feita foi para saber com quantos anos (representado pela variável X) o produto em condições normais de uso apresenta 10% de taxa de falhas. O gráfico da Figura 6 mostra que com 2,4 anos o produto terá essa taxa de falhas.

Figura 4 – Análise da distribuição de Weibull.



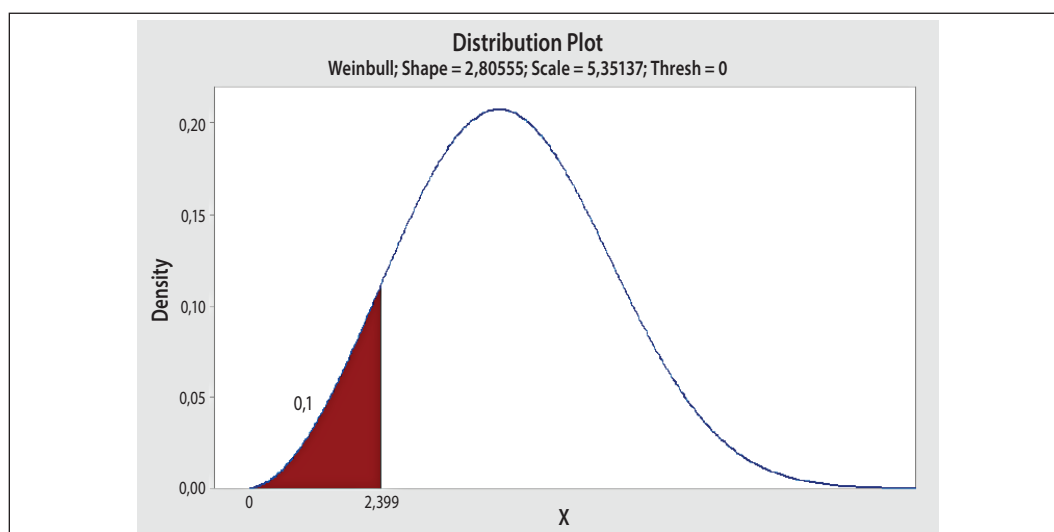
Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Figura 5 – Como analisar a confiabilidade ou a taxa de falhas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

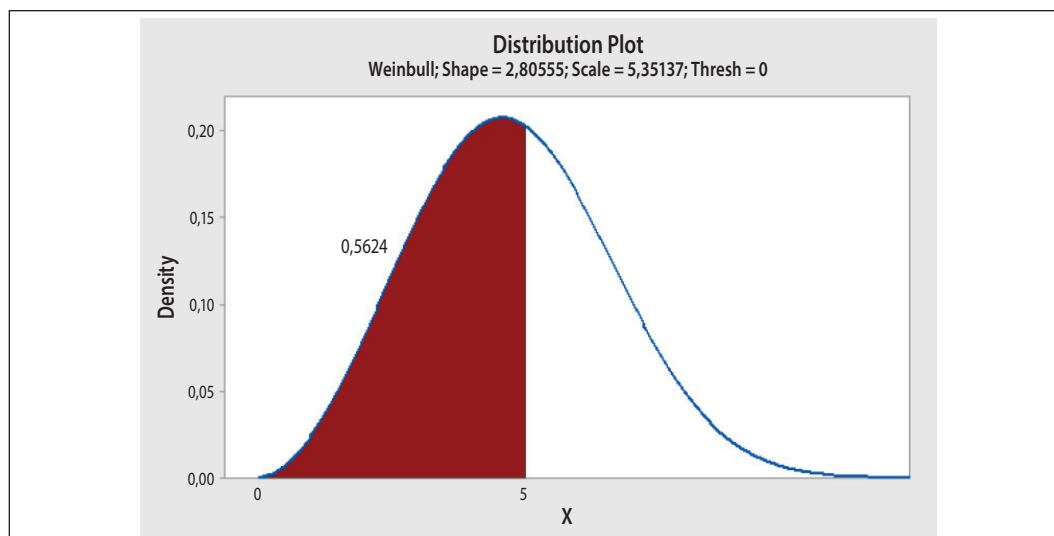
Figura 6 – Taxa de falhas de 10%.



Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

A segunda análise feita foi para saber qual será a taxa de falhas do produto quando estiver com cinco anos de uso, tempo oferecido de garantia pela empresa. Com esse tempo em uso o componente mecânico nas condições normais faz 57.103.200 ciclos e a taxa de falhas encontrada através da *probability distribution plot*, mostrada na Figura 7 foi de 56,24%, ou seja, ela indica que o produto está superdimensionado, pois nesse tempo taxa de falhas deve ser de 100%.

Figura 7 – Confiabilidade do produto com 5 anos de uso.



Fonte: Elaborado pelos autores (2016).



Partindo disso, foram encontrados os tempos de funcionamento para as taxas de falhas de 80%, 90%, 95% e 99% e para 10 anos de uso. Os gráficos da PDF de três confiabilidades são mostrados nas Figuras 8, 9 e 10. Os tempos correspondentes a cada uma delas são mostrados na Tabela 2.

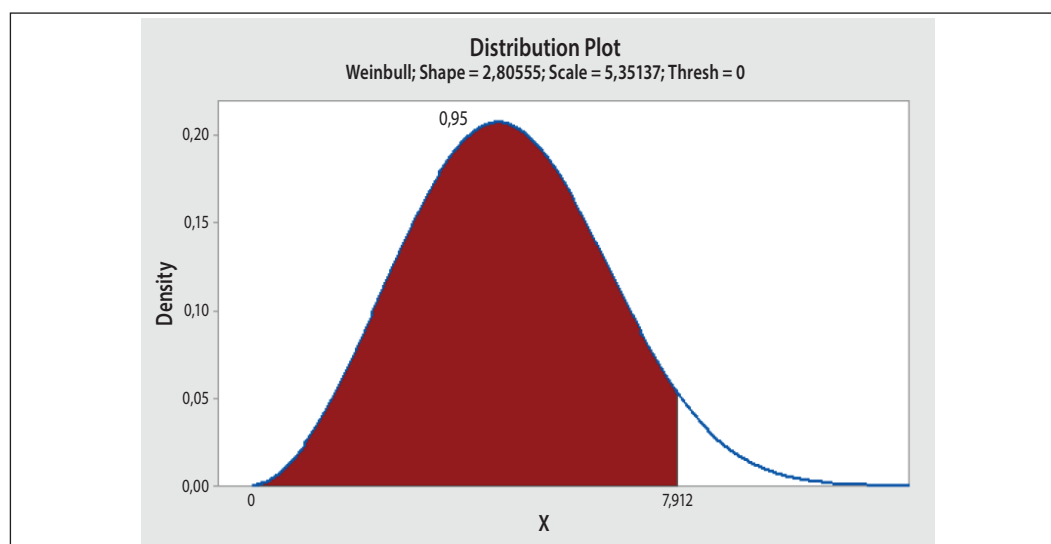
Tabela 2 – Tempos e taxa de falhas.

| Qnt. de ciclos | Equivalência em anos | Taxa de falhas |
|----------------|----------------------|----------------|
| 72.327.329     | 6,341                | 80%            |
| 82.130.930     | 7,204                | 90%            |
| 90.171.491     | 7,912                | 95%            |
| 105.038.233    | 9,223                | 99%            |
| 114.206.400    | 10,00                | 99,69%         |

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

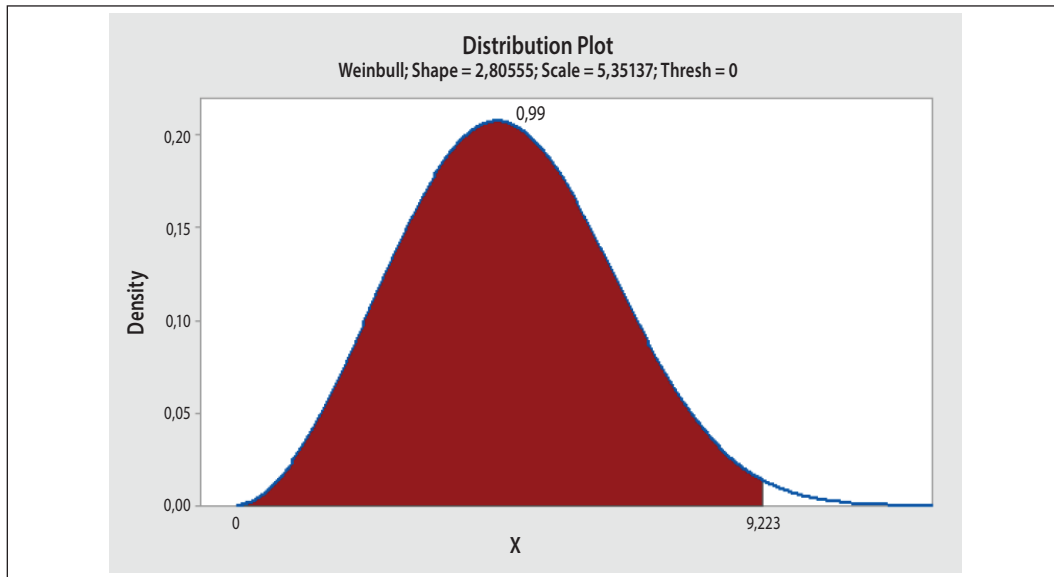
Analisando os gráficos das Figura 8 e 9 pode-se afirmar que o produto é superdimensionado, com 7 anos em uso (em condições normais) apresentará taxa de falhas de 90% e terá a confiabilidade de 10%, alta por ser determinada que a garantia será de 5 anos. Continuando as análises, os gráficos das Figuras 9 ainda mostram que o produto foi desenvolvido para uma vida útil maior que 5 anos, com 1% de confiabilidade o produto terá 9,2 anos de funcionamento (em condições normais de uso) e apresenta 99% de taxa de falhas.

Figura 8 – Taxa de falhas de 95%.



Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

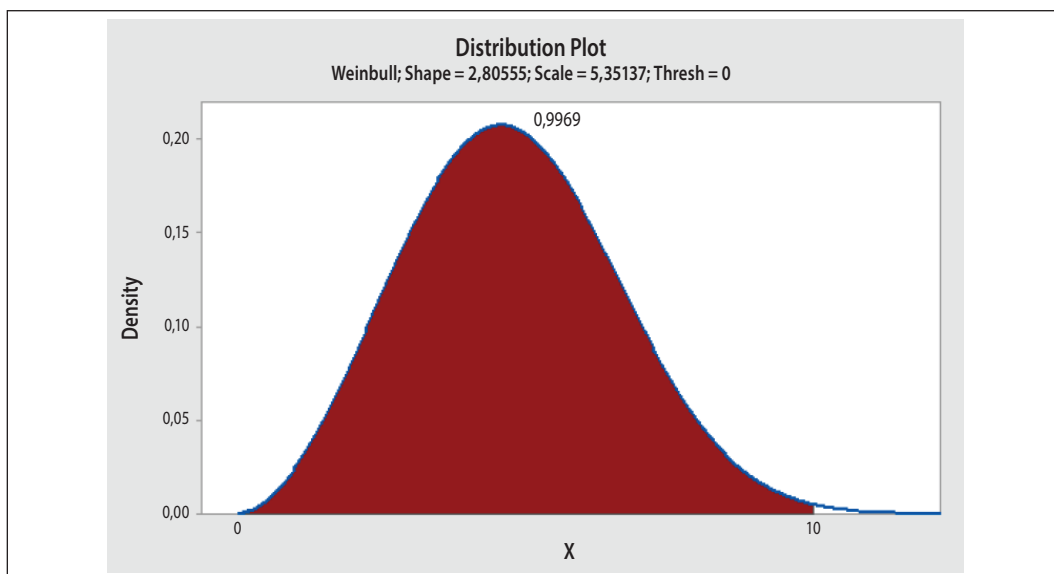
Figura 9 – Taxa de falhas de 99%.



Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Dessa forma, foi verificado qual será a taxa de falhas do produto com 10 anos de uso, e o resultado foi de 99,69%, indicando que o produto terá uma elevada taxa de falhas devido ao desgaste do produto, conforme mostra o gráfico da Figura 10.

Figura 10 – Taxa de falhas com 10 anos de uso.



Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

## 4.4. Implicações gerenciais

Até o ano de 2015 o produto era fabricado na unidade da Argentina e sua vida útil era de 3 a 4 anos, sendo necessária a troca parcial ou total do produto a partir desse período. Essa situação implica na produtividade dos clientes, devido a paradas da lavadora de garrafas. Como constatado por este estudo, o componente mecânico do sistema de transmissão da lavadora de garrafas está superdimensionado em relação à garantia oferecida pela empresa. Dessa forma, a empresa não terá vendas com a reposição de peças do produto ou do conjunto inteiro por aproximadamente 3 anos, considerando que o produto dure 8 anos. Por outro lado, ao se comparar o componente com a lavadora de garrafas, ele tem um custo de 2,5% sobre o valor, porém é essencial no funcionamento da máquina, por fazer parte do sistema de transmissão.

Analisando a estratégia de mercado, oferecendo ao cliente um produto com a confiabilidade de 5 anos foi possível conquistar o mercado e consequentemente aumentar o faturamento da empresa. O trabalho realizado auxiliou o departamento de vendas da empresa para comprovar ao cliente a qualidade do produto, mostrando que o novo produto atende as expectativas dos clientes. Os testes acelerados serviram para a Engenharia de Métodos e Processos constatar que os processos utilizados na fabricação do produto atendem os requisitos definidos pela direção da empresa, que é de colocar no mercado o melhor produto desse segmento, com qualidade e confiabilidade asseguradas.

A implementação do cálculo de confiabilidade apresentou para a empresa uma nova ferramenta para determinar a garantia de seus produtos, baseado em estatísticas e distribuições de probabilidade. Por ser uma ferramenta pouco utilizada na região, no início se torna difícil de implementar e comprovar sua eficácia. Além disso, este trabalho será parâmetro para o setor de Service, fazer o acompanhamento dos produtos em campo, tendo como principal objetivo rastrear os produtos e acompanhar os dados futuros de falha.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a crescente competitividade entre as empresas o atendimento ao cliente torna-se essencial na sobrevivência e crescimento das mesmas. Determinar a garantia através dos cálculos de confiabilidade permite que as empresas obtenham retornos positivos em relação à análise de dados de seus produtos. Logo, o cálculo de confiabilidade surgiu como uma ferramenta de apoio na tomada de decisão em relação ao produto desenvolvido. A realização deste

trabalho teve como objetivo implementar o cálculo de confiabilidade para determinação da garantia de um componente mecânico utilizado na lavadora de garrafas. Os setores das engenharias de Produto e de Métodos e Processos e o setor de vendas puderam validar a confiabilidade do produto desenvolvido. Com base nos resultados, pode-se dizer que o objetivo geral deste estudo foi cumprido satisfatoriamente.

Foi possível conhecer a estrutura do produto através da análise dos seus principais componentes, quanto aos materiais e aos processos produtivos. Outro fator importante foi a montagem correta da amostra para realização dos testes, permitindo uma análise real do comportamento do produto quando submetido a uma força maior que sua força de trabalho, que auxiliou na análise da qualidade do produto desenvolvido e possibilitou verificar qual a variável que leva o componente a falhar.

Aplicar o sistema de confiabilidade considerando o produto como um bloco, foi importante para poder verificar se a distribuição de Weibull se ajustava aos dados gerados aleatoriamente no Excel e considerar esses dados como o tempo de uso do produto até sua falha. O método utilizado para análise de confiabilidade e a utilização do software Minitab foi importante para o conhecimento de uma nova ferramenta que pode modelar o tempo de garantia de produtos e fazer a análise da taxa de falhas.

A aplicação da metodologia através das simulações no Minitab gerou como resultado a taxa de falhas do produto em diferentes períodos. O método proposto mostrou-se viável para o desenvolvimento e aplicação do cálculo de confiabilidade, pois permitiu através da distribuição de probabilidade verificar em qual período o produto terá maior probabilidade de falhas. O resultado mostrou que a falha irá ocorrer quando houver desgaste, ou seja, na fase de envelhecimento do produto. Dessa forma, comprovou-se que o componente mecânico foi desenvolvido para superar o tempo de garantia oferecido pela empresa e isso torna o produto com um diferencial no mercado.

A realização do teste acelerado de fadiga permitiu simular o esforço real do produto quando está em uso e não apresentou alterações nos componentes com 1.200.000 ciclos realizados, permitindo que a engenharia do Produto juntamente com a engenharia de Métodos e Processos afirmassem que o tempo de garantia de cinco anos será atingido.

A principal contribuição deste trabalho foi apresentar para a empresa uma metodologia para análise de falhas que pode ser aplicada quando não existem dados disponíveis para avaliar a confiabilidade do produto. Mesmo após os objetivos do trabalho serem concluídos com êxito, outros trabalhos podem ser

realizados no futuro visando dar sequência na implementação da confiabilidade dentro da empresa. Uma das sugestões é acompanhar o comportamento dos novos produtos fabricados que estão em funcionamento nas lavadoras de garrafas produzidas a partir de 2016, visando ter dados reais do retorno das falhas e validar ou não o método aplicado neste trabalho.

Outra sugestão é aplicar a metodologia para cálculo da confiabilidade nos componentes estratégicos dos equipamentos da empresa, que já tenham históricos e registros de falhas, podendo assim avaliar a confiabilidade dos mesmos e realizar a análise do projeto e dos processos produtivos visando a melhoria contínua dos equipamentos.

## REFERÊNCIAS

BRAILE, N. A.; ANDRADE, J. J. O. Estudo de falhas em equipamentos de costura industriais utilizando o FMEA e a análise de confiabilidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33, 2013. **Anais...** ENEGEP, Salvador, Ba, 2013.

DANTAS, M. A.; VALENÇA, D. M.; FREIRE, M. P. S.; MEDEIROS, P. G. M. DA SILVA, D. N.; ALOISE, D. J. Modelo de regressão de Weibull para estudar dados de falha de equipamentos de sub - superfícies em poços petrolíferos. **Produção**, v. 20, n. 1, p. 127-134, 2010.

DOS SANTOS, G. T. **Modelo de confiabilidade associando dados de garantia e pós-garantia a três comportamentos de falhas**. 2008. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Porto Alegre. 2008.

DROGUETT, E. L.; MOSLEH, A. Análise Bayesiana da Confiabilidade de produtos em desenvolvimento. **Gestão & Produção**, v. 13, n. 1, p. 57-69, 2006.

ELSAYED, E. A. **System Reliability Engineering**. Longman Inc. 1996. 739p.

FERNANDES, C. G. **Metodologia para melhorar a confiabilidade de subsistemas através de análise de falhas e testes acelerados**. 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Porto Alegre, 2010.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Elsevier, Rio de Janeiro. 2009.

MARTINS, V. L. M.; WERNER, L. Análise não paramétrica de falhas ao longo do calendário para alto-falantes. **Produto & Produção**, v. 11, n. 3, p. 07-18, out. 2010.

MARTINS, V. L. M.; WERNER, L.; PINTO, F. T. Uso da Simulação de Monte Carlo para Avaliação da Confiabilidade de um Produto. In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 13, 2010. **Anais... SIMPOI**, p. 1-12, 2010.

PIAZZA, G. **Introdução à Engenharia da Confiabilidade**. EDUCS, Caxias do Sul: 2000.

PIZZOLATO, M.; CATEN, C. S. T.; FOGLIATTO, F. S. Definição do prazo de garantia de um produto otimizado experimentalmente. **Gestão & Produção**, v. 12, n. 2, p.239-253, 2005.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e método**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001, 205p.