



Federação das Indústrias do Estado da Bahia

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM
COMPUTACIONAL E TECNOLOGIA INDUSTRIAL**

**Mestrado em Modelagem Computacional e Tecnologia
Industrial**

Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE DE VIDA ÚTIL DE VÁLVULAS DE SEGURANÇA INDUSTRIAIS
APÓS REPARO**

Apresentada por: Jonas Ribeiro Souza

Orientador: Prof. Dr. Marcelo A. Moret

SALVADOR
2019

JONAS RIBEIRO DE SOUZA

**ANÁLISE DE VIDA ÚTIL DE VÁLVULAS DE SEGURANÇA INDUSTRIAIS
APÓS REPARO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial do Centro Universitário SENAI CIMATEC como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial.

Área de conhecimento: Interdisciplinar

Orientador: Prof. Doutor. Marcelo A. Moret.

SALVADOR

2019

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Centro Universitário SENAI CIMATEC

S719a Souza, Jonas Ribeiro de

Análise de vida útil de válvulas de segurança industriais após reparo / Jonas Ribeiro de Souza. – Salvador, 2019.

60 f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Albano Moret Simões Gonçalves.

Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial) – Programa de Pós-Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2019.

Inclui referências.

1. Válvula de segurança. 2. Manutenção. 3. Confiabilidade. I. Centro Universitário SENAI CIMATEC. II. Gonçalves, Marcelo Albano Moret Simões. III. Título.

CDD: 620.11

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

Mestrado Acadêmico em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial

A Banca Examinadora, constituída pelos professores abaixo listados, aprova a Defesa de Mestrado, intitulada "ANÁLISE DE VIDA ÚTIL DAS VÁLVULAS DE SEGURANÇA INDUSTRIAIS APÓS REPARO" apresentada no dia 25 de fevereiro de 2019, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial.

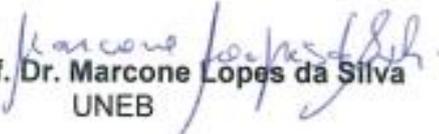
Orientador:


Prof. Dr. Marcelo Albano Moret Simões Gonçalves
SENAI CIMATEC

Membro Interno:


Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos
SENAI CIMATEC

Membro Externo:


Prof. Dr. Marcene Lopes da Silva
UNEB

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não aconteceria sem o apoio de meu orientador, Professor Doutor Marcelo A. Moret que teve total dedicação e paciência nas reuniões de orientação, muito obrigado por ter depositado um pouco de sua experiência sobre esta dissertação sem nunca me desmotivar.

Aos professores Dr. Alex Álisson Bandeira Santos e Dr. Marcone Lopes da Silva pelas correções que possibilitaram melhorias para este trabalho.

Igualmente, agradeço a todos os amigos que fizeram parte do curso de mestrado, onde o apoio e amizade foram cruciais em todos os momentos.

Agradeço minha família por sempre confiar em meu potencial e estar presente em todos os momentos de minha vida.

RESUMO

A manutenção, desde sua organização formal, é muito importante para qualquer processo produtivo seja na área industrial ou não, uma vez que sua implementação gera grandes retornos produtivos e financeiros. O trabalho aqui exposto tem como objetivo realizar uma análise da vida útil de válvulas de segurança expostas a processos contínuos de produção industrial por meio da distribuição de Weibull. As falhas associadas às válvulas de segurança e/ou alívio, em sua maioria estão relacionados ao processo de produção, mas também à interferência humana. Para cumprir o objetivo proposto este trabalho se caracteriza por uma abordagem quantitativa, tendo como processo analítico, dados reais da indústria envolvendo 2.174 válvulas de segurança e/ou alívio de pressão que apresentaram 5.792 falhas ao longo dos anos de 2013 a 2017. Como complemento, as Séries Temporais referentes às falhas são analisadas através do método Detrended Fluctuation Analysis com intenção de se determinar a eficiência do processo de manutenção. Como resultado é apresentado período ótimo de determinação de garantia de manutenção bem como o comportamento das distribuições de densidade de probabilidade de falha, confiabilidade, taxa de falhas e análises com relação ao comportamento de falhas de válvulas industriais de segurança e/ou alívio, além disso, essa pesquisa fornece subsídios para futuras análises com relação à medição de eficiência de processos por meio da aplicação do método DFA.

Palavras-chave: válvula de segurança, manutenção, confiabilidade.

ABSTRACT

Maintenance since its formal organization it is very important for any productive process whether in the industrial area or not, since its implementation generates great productive and financial returns. The presented work here aims to perform an analysis of the useful life of safety valves exposed to continuous processes of industrial production through the Weibull distribution. Failures associated with safety and / or relief valves are mostly related to the production process, but also to human interference. In order to fulfill the proposed objective, this work is characterized by a quantitative approach, having as an analytical process, real data of the industry involving 2.174 safety and / or pressure relief valves that presented 5.792 failures over the years of 2013 to 2017. As a complement to the Fault time series are analyzed through the Detrended Fluctuation Analysis method with the intention of determining the efficiency of the maintenance process. As a result, the optimum period of maintenance assurance determination is presented as well as the behavior of the probability density distributions of failure, reliability, failure rate and analysis in relation to the safety and / or relief valve failures behavior in addition, this research provides insights for future analyzes regarding the measurement of process efficiency through the application of the DFA method.

Keywords: safety valve, maintenance, reliability.

LISTA DE TABELAS

2.1 Simbologia para válvulas de Controle, Bloqueio e Segurança.....	17
2.2 Terminologias relacionadas às válvulas de segurança e/ou alívio	22
2.3 Especificação dos principais elementos de uma válvula de segurança e/ou alívio.....	24
3.1 Falhas relacionadas às recuperações realizadas em válvulas de segurança e/ou alívio.....	40
3.2 Resultados dos parâmetros da distribuição de Weibull.....	43
3.3 Amostragem parcial dos tempos de falha de válvulas de segurança.....	44
3.4 linearização da Distribuição de Weibull para determinação de prazo de manutenção ótimo.	45
3.5 Resultados da Média de Tempo de Falha, distribuições de Confiabilidade $C(t)$, Probabilidade de falha $F(t)$ e Taxa de falha	46
4.1 Resultados dos Parâmetros DFA.....	53

LISTA DE FIGURAS

2.1 Válvulas: Classificação elementar.....	16
2.2 Válvula de segurança e/ou alívio	19
2.3 Válvula de Segurança e/ou Alívio.....	24
2.4 Descrições das etapas do processo de manutenção de PSVs	27
2.5 Divisão dos Sinais integrados Rk e Rk' em $N - n$ intervalos (com superposição) de tamanho $n = 4$, cada um contendo $n + 1$ valores.	30
3.1 Função densidade $f(t)$ da distribuição de Weibull para vários parâmetros de forma β	36
3.2 Função Confiabilidade $C(t)$ da distribuição de Weibull para vários parâmetros de forma β	36
3.3 Função Probabilidade de falha $F(t)$ da distribuição de Weibull para vários parâmetros de forma β	37
3.4 Função da taxa de falha $F(t)$ da distribuição de Weibull para vários parâmetros de forma β	37
3.5 Curva da banheira.....	39
3.6 Distribuições da taxa de falhas. Período em dias	46
3.7 $F(t)$ - Probabilidade de Falha.....	47
3.8 $R(t)$ - Confiabilidade	47
4.1 Distribuição de Confiabilidade.....	48
4.2 Distribuição de falhas acumuladas ao longo do tempo	49
4.3 Função da taxa de falha ao longo do tempo	50
4.4 Distribuição e probabilidade de Weibull	50
4.5 Séries Temporais das entradas e saídas de equipamentos.....	52
4.6 Comportamento do expoente α que representa a entrada de equipamentos para manutenção	52
4.7 Comportamento do expoente α que representa a saída de equipamentos pós manutenção	52

SUMÁRIO

1. Introdução	1
1.1 Justificativa	4
1.2 Problema da Pesquisa	4
1.3 Objetivo Geral	5
1.3.1 Objetivos Específicos	5
1.4 Organização da Tese	6
2. Fundamentação Teórica	7
2.2 Levantamento Bibliográfico	7
2.1 Válvulas	14
2.3 Parâmetros de seleção	14
2.4 Tipos de Válvulas	15
2.4.1 Válvulas de segurança e alívio	18
2.4.1.1 Histórico	20
2.4.1.2 Definições importantes	21
2.4.1.3 Componentes de uma válvula de segurança	23
2.4.1.4 Manutenção	26
2.5 O Método DFA – Detrended Fluctuation Analysis	28
2.6 O método DCCA – Detrended Cross-Correlation Analysis	29
2.7 Ferramentas estatísticas	31
2.7.1 Distribuições Aleatórias Discretas	31
2.7.1.1 Distribuição de Poisson	31
2.7.1.2 Distribuição Binomial	32
2.7.1.3 Distribuição Geométrica	32
2.7.1.4 Distribuição Hipergeométrica	32
2.7.2 Distribuições Aleatórias Contínuas	33
2.7.2.1 Distribuição Normal	33
2.7.2.2 Distribuição Exponencial	33
2.7.2.3 Distribuição Gama	33
2.8 Distribuição de Weibull	34
2.8.1 Termos e equações fundamentais	34
3. Metodologia e Métodos	39
4. Resultados e Discussões	48
5. Conclusões e Perspectivas	54
6. Referências Bibliográficas	56

1. Introdução

Estabelecer a autenticidade das credenciais de uma empresa, voltadas para a manutenção, em tempos de escassez de recursos financeiros é um desafio para a maioria dos empreendimentos. A confiabilidade nos processos produtivos, especialmente na indústria, é muito valorizada hoje em dia, considerada um atributo menor no mundo dos negócios por muito tempo segundo Moubray (1997). A confiabilidade, que é a probabilidade de que um produto não falhe sob determinadas condições ambientais e funcionais durante um período de tempo definido (Bertsche, 2008, p. 12), se tornou um diferencial econômico que traz vantagens competitivas às empresas de um modo geral.

O desenvolvimento dos setores sociais, especialmente após a Segunda Guerra, impulsionou a economia mundial. As melhorias realizadas após este período como máquinas mais modernas, exportações e importações de produtos, qualidade como diferencial, surgimento da internet e principalmente uma economia globalizada deferiram aos departamentos industriais a apreciarem a confiabilidade em todos os atos do processo produtivo (Correa, 2015, p. 29). Neste aspecto estão as válvulas industriais, em especial as válvulas de segurança e/ou alívio.

As válvulas são equipamentos que exigem conhecimentos multidisciplinares e estas estão diretamente ligadas ao crescimento do país, ou seja, se houver projetos nas variadas áreas industriais ou de infraestrutura, serão necessárias para atuarem como reguladoras do processo de operação (castro; Eriksson, 2014, p. 12).

O custo de manutenção é uma variável de grande importância na definição de uma periodicidade de manutenção, constituindo-se na base para qualquer organização industrial cujo lucro é fundamental para a continuidade do negócio e garantir que cada vez mais se estenda os prazos para intervenções de manutenção em equipamentos, tornando-se um desafio que deve ser cumprido pelos gestores dos processos, Correa(2015).

As válvulas estão em toda parte, sua aplicação vai desde a culinária até as naves espaciais, passando pela anatomia, botânica e por muitas outras áreas do conhecimento. Elas são responsáveis por interromper ou liberar vazões de fluidos. As válvulas industriais chegam a custar aproximadamente em média 5% do investimento total de uma planta industrial, em quantidade perdem apenas para conexões de tubulações (Ribeiro, 1999, p. 20; Silva, 2010, p. 37). Segundo a Norma

Regulamentadora N^o 13, as válvulas de segurança e/ou alívio são acessórios obrigatórios em equipamentos (caldeiras e vasos de pressão) que operam em pressões superiores à pressão atmosférica, ou seja, a partir de 15 Psi (1,054 kgf/cm²) (Brasil, 2018). Conhecidas como PSVs, as válvulas de Segurança e/ou Alívio são caracterizadas como equipamentos automatizados de alívio de pressão que podem ser utilizadas como válvulas de alívio ou de segurança, a depender do contexto de aplicabilidade. O objetivo fundamental da válvula de segurança e/ou alívio é garantir a integridade de vidas e investimento na aquisição dos equipamentos que operaram pressurizados e serão protegidos por estas. Contudo, esta proteção só é garantida quando a válvula está perfeitamente definida, escolhida, dimensionada, inspecionada e mantida e tudo isto pode ser alcançado através de uma boa prática de manutenção.

A manutenção seja qual for o dispositivo é primordial para o segmento de uma metodologia industrial. Em direção às válvulas de segurança, segundo Filgueiras et al.(2014), a inevitabilidade de uma manutenção preventiva regular está associada não só a conservar a continuação do método, mas como resguardar a vida daqueles que manuseiam os equipamentos e por elas salvaguardados. A compreensão de manutenção revela-se como um conjunto de ações necessárias para desenvolver as políticas específicas de manutenção numa organização de produção. Para Correia (2015) a política de manutenção é um conjunto de códigos, metodologias e considerações que são enquadradas com intuito de operacionalizar a manutenção de maneira a acatar os principais interesses de uma empresa.

Variados tipos de manutenção são adotados atualmente, segundo (Fuentes; Salinas; DIAS, 2012, p. 17) ela pode ser dividida em três tipos principais: manutenção corretiva, preventiva e preditiva. Como exemplo, estas levam em consideração: manutenção baseada no risco (RBM), produtiva total (TPM), centrada na confiabilidade (RCM). Entretanto, indiferente do modelo adotado, há que constituírem otimizações para considerar os requisitos atuais e suavizar o quanto necessário as intemperes presentes nos processos de manutenção na indústria, onde as questões econômicas e financeiras sempre aparecem de forma significativa.

O risco inerente do processo de manutenção deve ser considerado, pois evitar colapsos em elementos de máquinas e paradas no processo produtivo é um dos grandes pontos, nesta perspectiva busca-se apresentar a eficiência do processo de manutenção através de análises de séries temporais usando o método Detrended Fluctuation Analysis (DFA) criado por Peng et al. (1994) que tem como característica

importante a identificação de correlação de longo alcance, nas séries temporais, via o seu expoente de correlação. Embora recente, o método DFA tem sido aplicado em diversas áreas das ciências. Aqui nesta dissertação iremos aplicar tal método a mais uma área do conhecimento, que neste caso, será a avaliação da eficiência da manutenção industrial.

A manutenção industrial, em algumas empresas, colocada em segundo plano, tem tanta importância quanto outras áreas industriais Viana(2013). A manutenção industrial contribui para o desenvolvimento e qualidade dentro da indústria, sendo parte vital que garante a produtividade e redução de custos a níveis razoáveis, não sendo apenas pelos custos diretos da manutenção, mas pela redução dos desperdícios de processo de fabricação. A manutenção compreende o conjunto de atividades voltadas a manter em perfeito estado produtivo os bens de produção.

Nas literaturas consultadas, encontram-se, de modo geral, os métodos aplicados para determinação de vida útil de equipamentos, mas não especificamente relacionados às válvulas de segurança. Bernd Bertsche, em sua obra, nos mostra os processos detalhados e diversos exemplos da aplicação de métodos estatísticos para o cálculo da confiabilidade de um equipamento Bertsche(2008). Raquel Maria Gondim e Marcus Antonio Viana Duarte retratam a ideia da utilização da estatística para garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações para atender a um processo de produção ou de serviço com confiabilidade Gondim; Duarte(2005). Já Bao Yiqi(2012) nos mostra que a análise estatística de tempo de vida é um item universalmente difundido em diversas áreas, como exemplo a biologia, medicina, engenharia, epidemiologia, entre outros.

Tomando como referência o exposto até aqui, o estudo da confiabilidade de válvulas de segurança após reparo é importante. O capital investido e principalmente a vida de pessoas, dependem do correto funcionamento das válvulas de segurança e alívio de pressão. Uma grande limitação para o desenvolvimento de pesquisas nesta área dar-se pela limitação de informações disponíveis para livre pesquisa, uma vez que seu emprego é, quase que exclusivo, em processos industriais contínuos. Esta pesquisa visa estipular intervalos de tempos onde a confiança no funcionamento do equipamento seja garantida através de tratamentos estatísticos levando em consideração dados reais de tempos de falhas de PSVs de uma empresa especializada em manutenção de válvulas industriais.

1.1 Justificativa

Os sistemas industriais podem apresentar melhor confiabilidade através de ações da manutenção preventiva. Quando as intervenções não respeitam uma periodicidade e o escopo não é definido corretamente, estes fatores podem levar ao colapso do processo produtivo podendo provocar até a inviabilidade do negócio.

Válvulas de segurança são equipamentos estáticos que possuem o objetivo de garantir a integridade física dos profissionais envolvidos em processos, como exemplo os industriais, e também promover a segurança do capital investido. Estas válvulas devem ser inspecionadas, mantidas e recalibradas, de acordo com a Norma Regulamentadora número 13, no mínimo concomitantemente com os vasos de pressão e caldeiras (Brasil, 2018). Entretanto, devido aos custos envolvidos nos processos de manutenção, os prazos para as intervenções nestes equipamentos estão sendo estendidos até seus limites regulamentares.

Toda válvula de segurança deve ser testada após sua remoção, deve passar por processos de inspeção e manutenção. Estes procedimentos são chamados de testes de recepção, que possuem o objetivo de verificar o desempenho e a integridade que a válvula possuía em operação. As válvulas de segurança são equipamentos delicados. Quando são expostos a situações que interfiram em sua integridade física, podem causar erros no teste de recepção, passando informações não confiáveis, que pode acarretar em tomada de decisões incorretas. Para a NR-13, em seu artigo 13.4.1.3, todas válvulas de segurança devem ser calibradas com a pressão de abertura igual ou inferior à pressão máxima de trabalho admissível do vaso ou caldeira a qual está empregada após a manutenção e esta calibração pode ser comprometida durante o percurso do local de manutenção ao local de operação, caso não seja respeitado os cuidados básicos que este equipamento deve ter, no que diz respeito ao transporte.

1.2 Problema da Pesquisa

Muito se tem feito na indústria a respeito de reduções de custos no processo de manutenção. Este fator está intrínseco com a confiabilidade dos métodos de recuperação em equipamentos industriais, ou seja, quanto maior a confiabilidade de um equipamento recuperado menor será os custos referentes a intervenções futuras neste item. Entende-se que existe uma relação inversamente proporcional entre

confiabilidade e custo de manutenção. De modo geral, as empresas balizam seus planos de manutenção tomando como referência a vida útil dos equipamentos e para isto fatores importantes devem ser acompanhados, como a degradação sofrida por eles ao passar do tempo. Nem sempre é possível apreciar a circunstância na qual se encontram e qual é a convergência deste desgaste. Desta forma, estabelecer um prazo adequado para recuperação de válvulas de segurança não é tão simples, levando em consideração a malha industrial que ela está inserida, fatores como vibração, temperatura, ciclos de pressão, corrosão, entre outros, devem ser levados também em consideração, sempre que possível.

A principal questão relacionada à elaboração desta dissertação é descobrir se através de informações, por meio de dados reais dos intervalos de falhas, coletados em uma empresa de manutenção de válvulas industriais, é possível caracterizar o comportamento de vida útil de válvulas de segurança submetidas a processos de produção contínuos utilizando-se para tal análise estatística?

1.3 Objetivo Geral

O objetivo geral desta dissertação é fazer uma análise da vida útil de válvulas de segurança expostas a processos contínuos de produção da indústria por meio da distribuição de Weibull e utilizar o método Detrended Fluctuation Analysis (DFA) para avaliar a eficácia do processo produtivo de manutenção de válvulas industriais de Segurança.

1.3.1 Objetivos Específicos

Nossos objetivos específicos são:

- Identificar um valor médio de tempo onde as válvulas de segurança falham levando em consideração dados de falha.
- Identificar se existe uma tendência de falha por desgaste devido os intemperes aos quais as válvulas de segurança estão envolvidas.
- Verificar a coerência do prazo de garantia após manutenção das válvulas de segurança dado por empresa especializada em recuperação de válvulas industriais.

- Aplicar o método Detrended Fluctuation Analysis (DFA) para avaliar a eficácia do processo de manutenção.

1.4 Organização da Tese

No próximo capítulo é apresentado os principais tipos de válvulas industriais empregadas na indústria de processos contínuos, suas características, funções e principais aplicações.

No capítulo 3 descreve-se a metodologia utilizada para a análise de dados coletados em uma empresa de manutenção de válvulas industriais, tendo como foco a confiabilidade e vida útil dos equipamentos.

No capítulo 4 são abordados os resultados e é realizada discussões sobre os resultados encontrados.

Finalmente no capítulo 5 são mostradas as conclusões definidas com o trabalho efetuado e são delineadas algumas hipóteses para trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

2.2 Levantamento Bibliográfico¹

Curt Miller e Lindsey Bredemyer (2007) trazem à tona a importância da atualização de métodos inovadores quanto à seleção e monitoramento de Válvulas de Segurança. Os autores mostram a relação do tratamento de dados que podem ser utilizados como ferramenta para melhora da confiabilidade do sistema. Estes fatos alinhados com a boa prática da manutenção, seguida rigorosamente por seus interventores, garantem um sistema eficaz e confiável, uma vez que o monitoramento dos equipamentos através da boa prática e das intervenções que são programadas garantem a confiabilidade do sistema. Por outro lado, nem sempre o monitoramento de uma planta industrial é possível de ser feito de forma eficaz. Os processos de manutenção são monitorados, evidentemente, mas nem todas as áreas da manutenção são tratadas de formas iguais. Os recursos, na maioria das vezes, são alocados a setores que influenciam diretamente na produção e que provocam perdas exageradas quando sofrem *Stop*², outras áreas da manutenção são deixadas de lado, como exemplo a manutenção preditiva. Quando uma empresa enxerga que a distribuição de recursos nos diversos setores é importante, seu sistema produtivo passa a ter confiabilidade, levando-se em consideração que as intervenções programadas por seus operadores são postas em prática de forma correta e eficiente.

Moncalvo e L. Friedel (2011) nos mostra uma importante relação referente ao *blowdown* (diferencial de alívio) e alguns fluídos envolvidos no processo produtivo. Os autores consideram as válvulas de segurança como elementos fundamentais em uma unidade industrial nuclear, onde são instaladas em reatores com objetivo de protegê-los contra as sobrepensões impostas do sistema. Eles nos apontam as relações entre mistura de fluidos e sua afinidade quanto ao diferencial de alívio em válvulas de segurança, podendo este influenciar diretamente no sistema ao qual a válvula de segurança está inserida. Além disso, eles trazem a justificativa de aplicação das

¹ Para realizarmos um levantamento bibliográfico, utilizamos de motores de busca eletrônicos, disponíveis na rede mundial de computadores (*internet*). Os *sites* consultados foram o *Scientific Electronic Library Online (Scielo)*, *Science Direct* e o banco de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). Utilizamos nestes motores de busca as seguintes palavras-chave: “válvula de segurança”, “manutenção”, “confiabilidade”

² STOP: parada não planejada do processo de produção.

válvulas de segurança, que são elementos utilizados quando a pressão montante supera a pressão do sistema. Estes componentes, portanto, atuam aliviando a pressão do sistema despressurizando-o, purgando o fluido do lado montante para o lado jusante e evitando que a sobrepressão ponha em risco a integridade do sistema. Como aspecto importante observado, o artigo retrata a influência de fluidos agindo diretamente sobre o lado montante da mesma válvula de segurança, mas não descreve os riscos que podem ocorrer com as falhas relacionadas a estes fatos levando em consideração o processo produtivo.

Chi-Hui Chien, Chung-Hung Chen e Yuh J. Chao (2009) propõem uma estratégia de inspeção em válvulas de segurança abalizado na ideia de Inspeção Baseado em Risco (RBI). Eles realizam um estudo baseado na Análise de Variância (ANOVA), onde se determina um valor crítico e a partir daí toma-se decisões baseados nas interpretações dos valores encontrados. Aplicando este método, os autores puderam concluir que o tempo de serviço das válvulas de segurança não é um fator que deve ser levado como parâmetro significativo na influência para condições de fragilização da PSV (Válvula de Segurança), por este motivo não é simples estimar prazos de intervenção nestes tipos de componentes, seja de manutenção ou apenas inspeções de verificação. Apesar de não determinar um prazo para intervenções em PSVs, os autores sugerem prazos de intervenções, que podem variar até 5 anos a depender dos fatores envolvidos, a partir da experiência e dos resultados obtidos com a aplicação da Inspeção Baseado em Risco (RBI), sendo que exames precisos devem ser realizados no equipamento. Levando-se em consideração a hipótese de realização de exames precisos, uma vez que as observações sejam documentadas, mostrando um histórico este fato pode garantir que intervenções mais longas nos equipamentos sejam aceitáveis, mas a partir de dados concisos e confiáveis.

O estudo de Chi-Hui Chien, Chung-Hung Chen e Yuh J. Chao baseia-se em dados coletados ao longo do tempo da atividade das válvulas. Entende-se que a delimitação da pesquisa ajudou os autores a chegarem a conclusões importantes sobre intervenções em válvulas de segurança, contudo acredita-se que mais variáveis deveriam ter sido inseridas para garantir maior confiabilidade do processo relacionado a períodos de intervenções em válvulas de segurança, como por exemplo a operação da válvula por intermédio de sobrepressão da linha.

Zhaoyang Tan, Jianfeng Li, Zongzhi Wu, Jianhu Zheng e Weifeng He (2011) propõem uma avaliação de estratégia de manutenção em um processo industrial, este

fundamentado em Inspeção Baseada no risco. Segundo os autores, este tipo de metodologia prioriza o planejamento da inspeção em unidades industriais. Esta avalia as probabilidades de falhas e as consequências do mesmo para uma elaboração de um plano de inspeção. Este tipo de inspeção tem por objetivo segundo (Tan et al, 2011, p. 13):

1. Afastar-se da inspeção com base no tempo muitas vezes governada pelo cumprimento mínimo de regras, regulamentos e padrões para inspeção.
2. Aplicar uma estratégia de fazer o que é necessário para salvaguardar a integridade e melhorar a confiabilidade e a disponibilidade do ativo, planejando e executando as inspeções necessárias.
3. Fornecer benefícios econômicos tais como menos inspeções, menos ou mais curtos desligamentos e maior duração.
4. Para salvaguardar a integridade.
5. Reduzir o risco de falha.

Ao longo do texto é mostrado o caminho metodológico para definir as melhores decisões a serem tomadas, baseando-se na metodologia aplicada para identificação e seleção dos riscos através de softwares de gestão de manutenção. A ideia é alimentar estas ferramentas com o maior número de informações e deixar estes darem sugestões que facilitarão a tomada de decisão pelo gerente de manutenção, favorecendo o trabalho dos envolvidos no processo e garantindo uma melhor aplicação da política de manutenção, que é a segurança, custos envolvidos, valor agregado e viabilidade.

É possível, segundo os autores, melhorar a compreensão da dinâmica de um problema complexo e representar uma abordagem eficaz para chegar à decisão com objetivo de solução do problema. Analisando as ideias dos autores, o Risco Baseado em Inspeção (RBI) é caracterizado pela ação dos responsáveis da manutenção dos equipamentos envolvidos e são levadas em consideração as ações tomadas pelos interventores em determinados equipamentos para se chegar a uma conclusão que ajude os inspetores no processo de inspeção destes equipamentos. Acredita-se que a eficácia das ações a serem tomadas, a partir da coleta de dados e tratamento destas informações por softwares específicos, são inegavelmente benéficas para o processo. Entende-se, entretanto, que o envolvimento da equipe de manutenção no processo seja fundamental para que se crie uma cultura onde seja possível evitar determinadas ações (indiretas) que prejudiquem o processo produtivo, ou seja, envolver a equipe responsável pelo reparo dos equipamentos durante as inspeções é fundamental para

que se crie um aspecto político na empresa em que os cuidados durante a manutenção beneficia o trabalho da inspeção, facilitando as tomadas de decisões perante as intervenções futuras no processo produtivo. Este envolvimento traria a redução das intervenções e consequentemente lucro, uma vez que a unidade industrial envolvida não pararia para que trabalhos fossem realizados nos equipamentos abrangidos.

Abrahamsen & Roed (2012) retratam uma realidade que ocorre em empresas que não atentam para a coleta e manutenção de dados relevantes para o processo produtivo, referindo-se a informações de manutenção de equipamentos industriais, especificamente Válvulas de Segurança. O artigo sugere um regime de manutenção para estas válvulas, consideradas críticas para o processo, levando-se em conta que dados importantes não estejam disponíveis para os tomadores de decisões, dados estes que são coletados ao longo da vida útil do equipamento. No entanto, para tais decisões, o conhecimento qualitativo do sistema deve ser levado em consideração.

Além disso, os autores sugerem a segregação dos processos em três partes chamadas de A, B e C, descritas como atividades de planejamento inicial, Seleção do método de ensaio e seleção do intervalo de ensaio, respectivamente.

O passo A deve levar em consideração os sistemas interligados às válvulas de segurança. Se este equipamento é crítico e põe em risco a parada das linhas em que a mesma está instalada, deve ser analisado em que medidas as decisões devem ser tomadas e quando estas poderão ser postas em prática. Apesar de considerar os dados limitados para a tomada de decisões, Abrahamsen e Roed consideram que qualquer informação do histórico da válvula deve ser levada em consideração para ajudar nas tomadas de decisões.

O passo B é considerado a partir de uma avaliação multidisciplinar, com uma abordagem qualitativa. É levado em consideração, também, os conhecimentos dos profissionais envolvidos no processo. Neste passo é avaliado as variáveis que surgem em função da tomada de decisão, ou seja, antes de se escolher um método de falha, as possíveis variáveis desta escolha são avaliadas. Estas devem ser divididas em baixa, média e alta consequências. Apesar de todas as análises, os autores entendem que devem ser levados sempre como parâmetros, que se sobreponham sobre os outros, a produção da planta e a segurança das pessoas envolvidas. Neste passo (B), a atenção referente a confiabilidade do processo é muito exigida, quando os testes forem implementados fatores devem ser levados em consideração, como por exemplo

o tempo em que a planta ficará parada em função destes testes. Os riscos que os testadores estarão expostos em função de vazamentos provenientes destas intervenções.

No passo C é onde é feito a seleção do teste. Devem ser realizados com a participação de conhecedores do processo e especificamente da válvula em questão. Cada caso descrito nos passos A e B devem ser levados em consideração neste item e cada uma das potenciais causas deve ser descritas qualitativamente com base em avaliações em grupo. A ideia no processo é revelar tantas variáveis quanto possível.

Para a finalização dos processos, relacionados a tomadas de decisões, sobre os métodos adequados a serem utilizados para determinada válvula é indicado segundo os autores alguns passos: 1. Revelar a relação entre as condições de operação e as causas potenciais da falha da válvula; 2. Discutir o tempo de ocorrência para as relações reveladas no passo acima; e, 3. Avaliar o intervalo de teste com base nas informações acima. Estas decisões devem ser fundamentadas unicamente na falta do histórico do processo, devem ser concatenadas com conhecimentos de profissionais experientes e as decisões tomadas devem ser ponderadas antes de serem postas em prática.

O estudo mostra um aspecto real de unidades industriais que possuem dados limitados dos processos. Este não é um fato raro de se verificar em empresas que não se atentam para aspectos organizacionais e não mantem um histórico organizado de intervenções em seus equipamentos. Estabelecer um método para seleção adequada de intervenções, testes e intervalos de realizações destes, baseados em experiências de profissionais e avaliações probabilísticas não é levado em consideração, uma vez que os interventores não possuem conhecimento suficiente do equipamento e seu histórico de falha. Contudo, as avaliações executadas não levam em consideração as dimensões e consequência, tais como, por exemplo, a garantia de produção, segurança, economia e impacto ambiental, estes são tratados separadamente. A inclusão destes dados aumentaria radicalmente o número de avaliações que deveriam ser realizadas para as tomadas de decisões. Acreditamos, todavia, que não deveriam ser postas de lado, uma vez que estão intrinsecamente relacionadas.

Outro aspecto importante observado pelos autores é que o método é mutável, uma vez que quando aplicado para determinado equipamento, inicialmente, na próxima intervenção deve ser editado, uma vez que se criou um dado documentado na intervenção anterior. Em longo prazo, será criado um histórico do equipamento em

observação e o método será posto de lado relacionado ao equipamento.

Em resumo, Bhowmik (2012) mostra o passo a passo para a especificação de uma válvula de segurança. A válvula de segurança é um dos itens mais importantes em uma unidade industrial, se não o mais importante. Tem a função de garantir a redução da pressão quando uma sobrepressão acontece em uma planta industrial, sendo considerada o último recurso de segurança que tem o objetivo de garantir a integridade física dos profissionais envolvidos, bem como o investimento financeiro realizado na planta industrial. O autor baseia-se em normas e catálogos de fabricantes, apesar de especificar o equipamento, a garantia da confiabilidade de operação é dada pelo fabricante. Contudo, entendemos que o estudo explicitado no artigo tem por objetivo reduzir o tempo de engenharia aplicado para especificação deste item, garantindo assim uma redução de custo com a engenharia aplicada à especificação destes equipamentos. Também pode ser utilizado por engenheiros iniciantes, como forma de consulta para a especificação de PSVs.

O autor mostra a seleção do equipamento a ser empregado quanto a determinado tipo de processo. É levado em conta os aspectos necessários para a correta seleção da válvula. Uma característica que deveria ser explorada no trabalho é os tipos de falhas que as PSVs podem apresentar quando mal especificadas. Este estudo paralelo poderia desenvolver nos trabalhadores da indústria o senso de responsabilidade e a importância da correta seleção de materiais a serem empregados na indústria em geral. A tomada de decisão, quando feita erroneamente pode colocar em risco o investimento financeiro no projeto e muito mais crítico a vida de pessoas.

Bao *et al* (2013) propõem que após as análises de confiabilidade, utilizando software específico, seja fornecida base para a determinação de tempos de calibração das válvulas de segurança. O processo, também, pode ser utilizado para outras análises que envolva a indústria de processos. A ideia é dispor de um procedimento de modelagem e análise de confiabilidade com o propósito de ajudar na tomada de decisões quanto aos intervalos de calibração em PSVs. Os autores descrevem as causas mais comuns de falhas nestes equipamentos e a partir deles descrevem uma metodologia por diagrama de árvore e fazem estudos a partir daí com a ajuda de software específico e determinam, então, o grau de confiabilidade do processo e os prazos que devem ser tomados para intervenções nos equipamentos, neste caso, válvulas de segurança.

É utilizado para determinação do estudo e análise do modo de falhas, efeitos e criticidade (FMECA)³ dos equipamentos envolvidos. Além do recurso utilizado, os autores usam um outro recurso poderoso na manutenção: a análise de árvore de falhas. Esta é uma das principais técnicas para avaliação da confiabilidade de sistemas. O texto retrata bem os modos de falha.

Como as válvulas de segurança são equipamentos frágeis, verificou-se a necessidade de avaliar pesquisas relacionadas à manipulação de objetos frágeis. Stacey L. Gorniak, Vladimir M. Zatsiorsky e Mark L. Latash (2011) realizaram um estudo com 14 pessoas alternadas entre homens e mulheres. O objetivo era investigar estratégias para o ajustamento nos padrões cinemáticos e cinéticos e em sinergia em transporte vertical de determinados objetos. Foi utilizado conhecimentos da física e suas teorias para determinar os padrões necessários referentes a manipulação de coisas frágeis. O que ficou constatado pelo estudo foi que ao mover objetos mais frágeis, os sujeitos diminuíram a aceleração do objeto e aumentaram o tempo de movimento. Este procedimento mostrou uma queda na margem de segurança, provocando uma força extra sobre de esmagamento do objeto.

Potencialmente, existem duas estratégias para se certificar de que um objeto frágil não quebre durante o movimento. Primeiro, pode-se retardar o movimento, resultando em valores de aceleração, sem segundo, alterar a força de aperto excessiva ao objeto, as duas irão gerar casos prováveis de falha. O primeiro o tempo de transporte aumentará, já o segundo poderá provocar o esmagamento do objeto a ser transportado, levando-se em conta sua fragilidade, quando se tem que mover um objeto frágil rapidamente, um aumento na força de aperto pode levar a esmagamento do objeto.

A maioria dos estudos encontrados foi insuficiente para uma compreensão da análise necessária por meio da aplicação estatística de dados reais de falha de válvulas de segurança. Das pesquisas encontradas a que mais se assemelha o que se propõem neste trabalho, leva em consideração análises de causa de falhas, mas ainda assim não dispõe de informações com relação a distribuições estatísticas como

³ FMECA é uma técnica de análise desenvolvida para ser aplicada principalmente a componentes físicos (hardware), com o objetivo de identificar em cada um dos componentes do sistema seus potenciais modos de falha e avaliar os efeitos que estas falhas possam acarretar nos demais componentes e sobre o sistema (unidade fabril, equipamento, instalação, etc.). É uma forma de documentar de forma organizada e sistêmica os modos de falha e seus efeitos (e criticidade).

exemplo a distribuição de Weibull. Este levantamento preliminar nos permitiu compreender de forma geral o que atualmente se estuda sobre válvulas de segurança. Não há muitos artigos voltados para estudo de confiabilidade deste tipo de equipamento, fato que motivou ainda mais o desenvolvimento desta dissertação.

2.1 Válvulas

Os custos referentes a válvulas industriais são significativos para a indústria de processos contínuos. Segundo Ribeiro (1999), o mercado de válvulas é estável e chega a movimentar aproximadamente U\$\$ 2 bilhões por ano.

As válvulas podem ser consideradas equipamentos com funções de estabelecer, controlar e interromper fluxos de fluídos que podem variar da forma líquida a gasosa, em uma tubulação. Para Telles(2001), as válvulas são os acessórios mais importantes existentes nas tubulações e que por isso devem merecer o maior cuidado na sua seleção, especificação e localização. Possuem sua aplicação em entradas e saídas de vasos de pressão, tanques, tubulações.

Castro & Eriksson(2014) desmistifica a aplicação de válvulas tanto no contexto acadêmico quanto na indústria. Segundo estes autores, ainda que as válvulas sejam mostradas e em parte pesquisadas em domínio acadêmico, existem outros aspectos que carecem ser levados em consideração quando o contexto é transformado de algo ideal como geralmente é mostrado em uma sala de aula à vida real de uma indústria em pleno funcionamento. Neste aspecto, as válvulas trabalham dependendo da aplicação, todos os dias do ano, em um caminho estável de operação que exige o máximo desempenho e as máximas resistências mecânicas, química, a variados modos de corrosão, abrasão e incrustações e tudo isso derivada do ambiente e fluidos do processo.

2.3 Parâmetros de seleção

De acordo com Silva(2010) e Ribeiro(1999), os parâmetros adequados para seleção de válvulas podem ser divididos em aplicação da válvula, função da válvula, Produto empregado, se a perda de carga vai influenciar, condição de operação, vedação, materiais de construção e elementos de controle de vazão. Castro e Eriksson(2014) citam, além daquelas variáveis, algumas que julgam fundamentais para uma boa seleção de válvulas, são como temperatura, viscosidade, vazão, pressões à montante

e à jusante, pressão de fechamento, ruído máximo permitido conforme legislação, existência de vaporização ou cavitação, diâmetro das tubulações de entrada e saída, tipos de conexões (flange, rosca, solda, etc.). Estes aspectos garantem conhecimento para especificar precisamente o equipamento, tendo como consequências a operação eficaz e principalmente econômica do capital investido.

O passo inicial para caracterizar a seleção de uma válvula é o de definir claramente o que se espera dela, assim, qual a função a ser desenvolvida pela válvula depois de ter sido instalada. A avaliação correta da função reduz os modelos de válvulas adequadas para a aplicação. Em muitas aplicações, há vários tipos de válvulas que funcionarão semelhantemente bem e a alternativa adotada pode ser fundamentada apenas em fatores como custo e disponibilidade. Em contrapartida, para outras aplicações, pode ser que a melhor alternativa seja uma válvula não disponível no mercado. Então, a solução é projetar e construir uma válvula especial ou usar uma disponível no mercado que ofereça mais benefícios, embora não seja a ideal Ribeiro (1999).

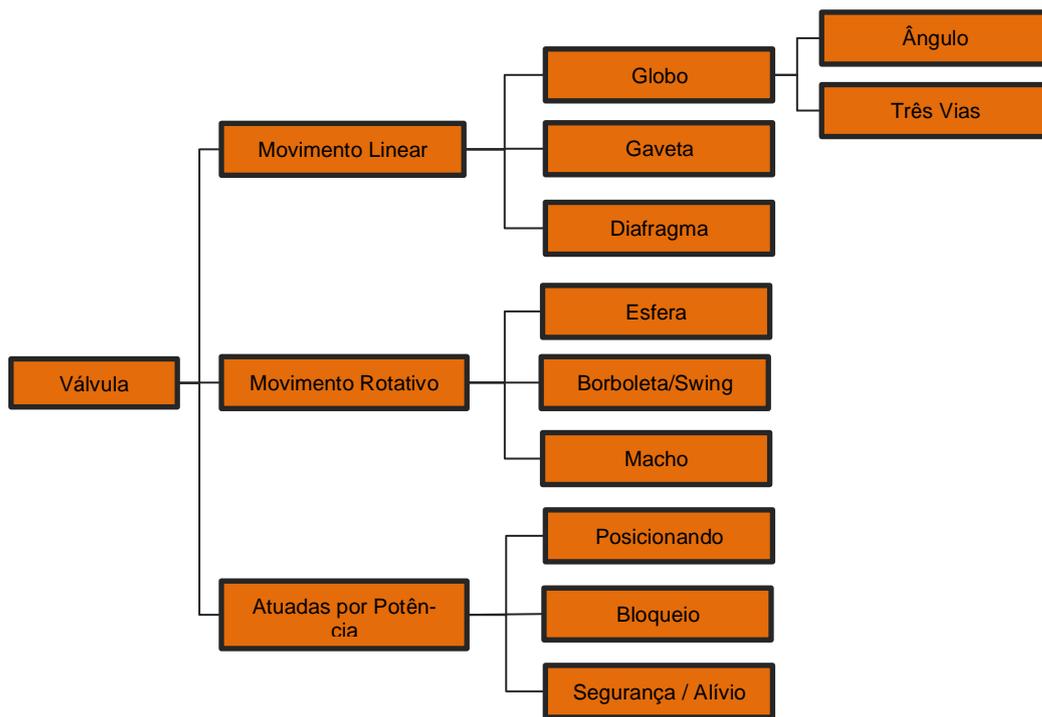
2.4 Tipos de Válvulas

Vários são os tipos de válvulas empregadas no setor industrial, pois a demanda é significativa. Para Ribeiro(1999) e, Telles(2001) a média de surgimento de válvulas novas chega a ser de uma válvula a cada mês. Esta dinâmica de novas válvulas surgindo torna sua classificação difícil.

A quantidade de válvulas utilizadas para o controle de fluidos é razoável, com válvulas variando de simples recursos de *On-Off* até sistemas complexos. Seus portes variam de pequenas válvulas até válvulas industriais com diâmetros elevados, podendo ter centenas de quilos. As válvulas regulam a vazão de diferentes formas de fluidos, variando do mais simples, por exemplo, o ar até metais líquidos e materiais radioativos. Elas podem ter tempo de vida de apenas um ciclo de funcionamento até milhares de ciclos, sem a obrigação de reparo ou troca. As válvulas podem ser exigidas para a total vedação, onde vazamentos mínimos podem levar a ações catastróficas ou elas podem permitir a passagem de quantidades aceitáveis de fluido quando fechadas, sem que isso influencie no processo. As válvulas podem ser atuadas por modos variados como: pneumático, elétrico e manual. Elas podem responder de um modo previsto a sinais resultantes de sensores de temperatura,

pressão e outras variáveis do processo ou podem com facilidade abrir e fechar independentemente da potência do sinal de atuação. Todas as válvulas hoje em uso derivam de modificações de alguns poucos tipos básicos. As válvulas podem ser classificadas de diferentes modos, tais como estilo de atuação, material, tamanho, tipo do fluido manipulado, função, classe de pressão.

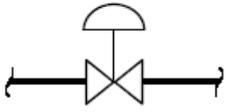
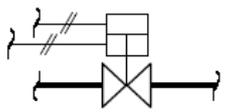
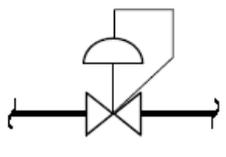
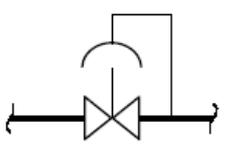
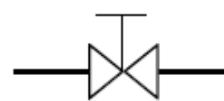
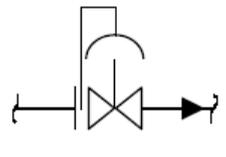
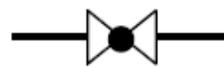
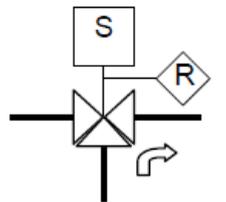
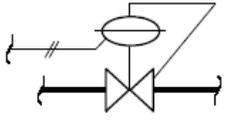
Figura 2.1 Válvulas: Classificação elementar



Fonte: Adaptação do autor baseado em RIBEIRO (1999)

Algumas válvulas podem ser consideradas como tecnologia de domínio público, outras não, pois são patenteadas e estão sobre a propriedade de suas fabricantes. Um modo conveniente de classificar as válvulas é de acordo com a natureza do meio de operação empregado, o Quadro 2.1 mostra a simbologia para diferentes tipos de válvulas industriais com suas descrições empregadas atualmente a partir dos estudos de Silva (2010). Este modo é esquemático e simples, pois todas as válvulas se enquadram em uma das categorias acima, conforme Figura 2.1.

Quadro 2.1 Simbologia para válvulas de Controle, Bloqueio e Segurança

Simbologia	Descrição	Simbologia	Descrição
	Válvula de controle com atuador pneumático		Válvula gaveta: Pode ser acoplado atuador ao corpo
	Válvula atuada por cilindro (ação dupla)		Válvula globo
	Válvula autorregulada ou reguladora		Válvula retenção
	Reguladora com tomada de pressão externa		Válvula controle manual
	Reguladora de vazão autocontida		Válvula esfera
	Válvula solenoide com três vias com <i>reset</i>		Válvula borboleta ou <i>damper</i>
	Atuada por diafragma com pressão balanceada		Válvula de retenção e bloqueio

Quadro 2.1 Simbologia para válvulas de Controle, Bloqueio e Segurança

Simbologia	Descrição	Simbologia	Descrição
	Válvula com atuador a diafragma e posicionador		Válvula de <i>blowdown</i>
	Ação da válvula FC – Falha fechada FO – Falha aberta		Válvula diafragma
	Válvula de controle com atuador manual		Válvula ângulo
	Válvula de segurança		Válvula três vias
	Válvula agulha		Válvula quatro vias
	Outras válvulas com abreviatura sob o corpo		Corpo de válvula isolado

Fonte: Adaptação do autor a partir de SILVA (2010)

2.4.1 Válvulas de segurança e alívio

Válvulas de Segurança de Pressão, conhecidas como PSV (*Pressure Safety Valves*), e/ou Válvulas de Alívio de pressão, conhecidas como PRV (*Pressure Relief Valves*), são itens fundamentais em vasos de pressão, caldeiras e alguns processos que trabalhem sobre pressões superiores à atmosférica. Projetadas para serem operadas como elemento final, ou seja, quando outros elementos não agem para

indicar ou evitar a elevação da pressão, sendo o operador do processo isento de agir para evitar tal desequilíbrio no sistema. É um exemplo da aplicação destes tipos de equipamentos quando há risco eminente em uma malha industrial relacionado à sobrepressão. As válvulas de alívio automáticas que não respondem na pressão programada ou outra que tem a função de reduzir a pressão falha completamente permitindo passagem de fluido levando ao aumento da pressão do sistema no lado jusante,

Para Silva (2010) O objetivo da válvula de segurança e alívio aplicadas em plantas industriais é diminuir a sobrepressão, que atinge um ponto superior ao estabelecido em projeto da planta indústria. São elementos finais na linha de produção objetivando a proteção das pessoas envolvidas no processo e os equipamentos ali empregados. Para Ribeiro (1999), entre as responsabilidades principais dos responsáveis por gerir um processo na indústria de processos contínuos é de garantir a segurança do processo. Entende-se que o mais importante é garantir a proteção das pessoas caso haja sobrepressão. A Figura 2.2 ilustra uma válvula de segurança e/ou alívio.

Figura 2.2 Válvula de segurança e/ou alívio



Fonte: Crosby, fabricante de válvulas.

Disponível em < <http://www.crosby.com.br/Conteudo/crosby/>> Acesso em jul. 2018

As nomenclaturas empregadas Alívio, Segurança e Alívio e Segurança são utilizadas para válvulas que tem o objetivo de diminuir a pressão de um sistema. Empregadas em processos industriais, geralmente são confundidas, contudo são

diferentes, estas diferenças se baseiam principalmente no fluido empregado no processo e nas características de projeto de cada uma das válvulas.

2.4.1.1 Histórico

A primeira válvula de segurança foi inventada no ano de 1682 por Denis Papin, físico e inventor francês, nasceu em Blois, França, em 1647. Começou suas experiências sobre os fenômenos do vapor em julho de 1676. A válvula de segurança não possuía semelhança com o modelo empregado pelas indústrias atualmente. Papin a desenvolveu para evitar a sobrepressão de seu digestor movido a vapor. Seu desenho de alívio de pressão consistia em um peso suspenso em um braço de alavanca. Quando a força da pressão do vapor atuando na válvula ultrapassasse a força do peso atuando através do braço de alavanca, a válvula entrava em operação. Projetos que exigiam um ajuste de pressão de alívio mais alto demandavam um braço de alavanca maior ou pesos maiores. Este sistema simples funcionou, entretanto, mais espaço era necessário e poderia ser facilmente adulterado, levando a uma possível sobrepressão e conseqüentemente a explosão. De acordo com Silva (2010), outra desvantagem foi à abertura prematura da válvula caso o dispositivo fosse submetido a movimentos vibratórios.

De acordo com Silva (2010), Charles Ritchie, no ano de 1848, como pioneiro, introduziu uma forma de aplicar a energia expansiva promovida pelo fluido com objetivo de aumentar a eficiência de operação da válvula. Consistia em um formato geométrico semelhante com o lábio humano ao redor do campo de vedação do bocal, contudo era estático. Atualmente no local deste componente há o anel do bocal, peça que é roscada e tem o objetivo para ajustar a força de abertura da válvula.

William Naylor, no ano de 1863, apresentou um recurso de melhoria nas válvulas com objetivo de aumentar o curso de operação de uma válvula. A melhora baseava-se em um segundo objeto com geometria de um lábio ao redor do disco, atualmente é uma “saia” na face inferior do suporte do disco ou um anel superior rosqueado (MATHIAS, 2014, p. 45).

As válvulas modernas utilizam os princípios de projeto de ambos para aproveitar as forças reativas e expansivas do fluido de processo para alcançarem o curso máximo e, conseqüentemente, a vazão máxima (SILVA, 2010, p. 75).

No início da Revolução Industrial, onde não se tinha grande conhecimento sobre o controle da energia, em suas variadas formas bem como o seu

armazenamento, aconteceram inúmeros acidentes e amplas prejuízos materiais. Ao se iniciar a utilização de geradores a vapor na indústria naval, por exemplo, dezenas de explosões repetidamente ocorreram fazendo várias vítimas. Como eram comuns a utilização de caldeiras domésticas e os controles das pressões que elas geravam eram basicamente manuais, várias explosões ocorreram devido à falha humana, pois os controles das pressões eram manuais.

Somente a partir de 1869 é que foi inventada a válvula de segurança tipo mola, com origem no projeto de dois americanos, George Richardson e Edward H. Ashcroft, (Ribeiro (2002); Silva (2010); Mathias (2014)).

Iniciado em 1906 e nos seis anos seguintes, próximo de duas mil caldeiras explodiram que acarretaram em aproximadamente 1500 mortes de pessoas nos Estados Unidos. Levando estes acontecimentos em consideração, a *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) iniciou a elaboração de um código de projeto, formando a partir daí o Comitê de Caldeiras e Vasos de Pressão. Com este surgiu a primeira seção do Código ASME para Vasos de Pressão Submetidos a Fogo (Caldeiras) (SILVA, 2006, p. 78). Este departamento de caldeira e vasos de pressão transformou-se em requisito obrigatório que devera ser adotado em todo território Americano. O documento tornou-se público no ano de 1914 e convencionalmente implementado no mês de março de 1915 Ribeiro (2002); Silva (2010); Mathias (2014).

2.4.1.2 Definições importantes

Algumas definições estão relacionadas ao tema, inicialmente os termos segurança e alívio são empregados com objetivo semelhante, assinalam equipamentos que promovem a proteção do sistema contra o excesso de pressão, contudo, elas são diferentes. As de segurança são desenvolvidas para atuarem promovendo uma abertura total, objetivando a redução imediata da pressão. As de alívio são desenvolvidas para operarem lentamente com a elevação da pressão. As válvulas de alívio são empregadas em processos onde os fluidos não são compressíveis, ou seja, uma pequena descarga acarreta na diminuição da pressão. As válvulas de segurança são empregadas em processos onde o fluido é compressível, como exemplo, gases.

Há também as válvulas de segurança e alívio que compreendem um projeto que as habilitam a serem empregadas tanto em fluidos compressíveis quanto incompressíveis. Os objetivos destas válvulas são: acatar as legislações

governamentais; proteção contra perigos ocasionados pela sobrepressão da malha industrial; reduzir desperdício de produtos após pane operacional, causando aumento de pressão; prevenir avarias a aparelhos e à vizinhança; e, redução de capital investido para contratação de seguros da planta. No Quadro 2.2 é apresentado algumas terminologias que ajudam a compreender o tema.

Quadro 2.2 Terminologias relacionadas às válvulas de segurança e/ou alívio

Terminologia	Definição
Acumulação	A acumulação é o aumento da pressão, além da pressão de trabalho máxima permissível do vaso durante a descarga através da válvula de alívio de pressão, expressa como uma percentagem desta pressão, ou em kPa (psig).
Aviso	A condição justo antes da abertura, em que uma válvula de alívio de pressão com mola está no ponto com forças zero ou negativas para manter a válvula fechada. Assim que o disco da válvula tenta subir, a constante da mola ainda desenvolve força suficiente para fechar a válvula.
Batimento	Variações periódicas, rápidas e anormais no levantamento, durante as quais o disco não consegue fazer contato com a sede.
Blowdown	Blowdown é a diferença entre a pressão ajustada e a pressão de fechamento da válvula de alívio de pressão, expressa como uma percentagem da pressão ajustada ou em kPa (psig).
Contrapressão	A pressão no lado de descarga da válvula de alívio de pressão, que pode ser constante ou variável.
Lift	A elevação do disco da válvula na válvula de alívio de pressão.
Pressão de Alívio	A pressão de alívio é a pressão medida na entrada da válvula, em que a capacidade de alívio é determinada.
Pressão Ajustada	A pressão, medida na entrada da válvula, em que há um levantamento detectável ou em que a descarga se torna contínua, quando determinado vendo, sentindo ou escutando.
Pressão de Fechamento	Pressão medida na entrada da válvula de alívio de pressão, em que a válvula fecha,
Pressão de Início de Vazamento	A pressão na entrada da válvula em que o fluido aliviado é primeiro detectado no lado a jusante da sede
Pressão de Operação	A pressão de operação é a pressão em que o sistema está usualmente sujeito em serviço.

Quadro 2.2 Terminologias relacionadas às válvulas de segurança e/ou alívio

Terminologia	Definição
Pressão de Reabertura	Pressão de abertura quando a pressão é aumentada, assim que possível, depois que a válvula é fechada ou reasentada de uma descarga anterior.
Pressão de Selagem	Pressão medida na entrada da válvula de alívio de pressão após o fechamento,
Sobrepessão	A sobrepessão é o aumento da pressão, além da pressão ajustada no dispositivo de alívio principal.

Fonte: RIBEIRO (1999); RIBEIRO (2002); MATHIAS (2014); SILVA (2010); SANTOS ET AL (2002).

Várias são as normas que regulam os projetos de válvulas de segurança. Segundo Ribeiro (1999); Ribeiro (2002); Mathias (2014); Silva (2010); Santos et al (2002).

1. International Organization for Normalization, Project ISO/DIS 4126.
2. Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter, Spec. A2, Alemanha.
3. British Standard (BS) 5500, 1976.
4. American Petroleum Institute:
5. RP 520 Design and installation of pressure-relieving systems in refineries – Parts I & II.
6. RP 521 Guide for pressure relief and depressuring systems.
7. RP 526, Flanged steel safety relief valves.
8. API S 2000, Venting Atmospheric and Low Pressure Storage Tanks.
9. American Society of Mechanical Engineers: Boiler and Pressure Vessel Code.
10. Section 1: Power Boilers
11. Section 8: Pressure Vessels
12. National Fire Protection Association:
13. NFPA 30: Flammable and Combustible Liquids Code
14. NFPA 58: Liquefied petroleum gases Storage and Handling.

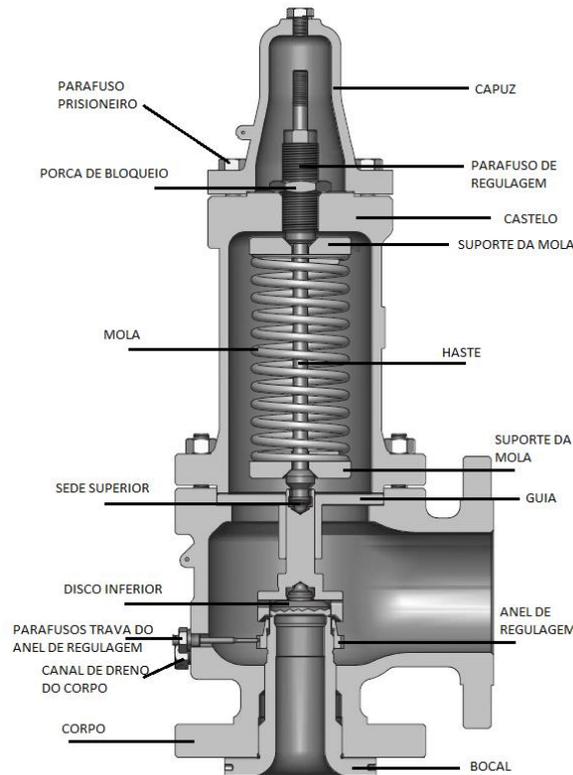
Estas normas estabelecem as diretrizes, onde aplicar, cálculos necessários, e atributos das válvulas de segurança e/ou alívio.

2.4.1.3 Componentes de uma válvula de segurança

A função básica de um equipamento de alívio é a de aliviar uma condição de sobrepessão de um sistema de modo automático, econômico e eficiente Ribeiro (2002). As válvulas de segurança e /ou alívio são constituídas de peças que

desempenham, cada uma, um papel particular para o funcionamento da válvula. Na Figura 2.3 é possível verificar uma válvula de Segurança e/ou Alívio de pressão com a indicação de seus principais componentes.

Figura 2.3 Válvula de Segurança e/ou Alívio



Fonte: Autor

Analisando as partes que compõem uma válvula de segurança e/ou alívio de pressão, no Quadro 2.3 descrevemos, a função dos principais elementos que constitui a válvula.

Quadro 2.3 Especificação dos principais elementos de uma válvula de segurança e/ou alívio

Item	Descrição
Capuz	Protege a integridade do parafuso de ajuste, para que a calibração não seja violada; após manutenção e calibração da válvula é instalado um lacre que garante a integridade da calibração aplicada.
Parafuso de ajuste	Tem a função de dar o ajuste necessário na mola para obter-se a calibração. Fica assentado no suporte da mola, ele comprime a mola para dar pressão sobre as sedes.
Suporte da mola	Tem a função de suportar a mola para garantir a compressão do item de

Quadro 2.3 Especificação dos principais elementos de uma válvula de segurança e/ou alívio

Item	Descrição
	forma uniforme. Fica apoiado na base da haste e na parte superior da mola entre a mola e o parafuso de ajuste.
Mola	É responsável por uma parte do desempenho correto das válvulas de segurança. Tem a função de prover a pressão necessária para garantir a calibração da válvula. Suporta a pressão da linha para garantir a abertura e fechamento da válvula;
Haste	Tem a função de garantir o alinhamento da mola e dos suportes da mola, do parafuso de ajuste também. Garante que a pressão exercida pela mola no suporte da mola seja transferida à sede. Ela transmite tanto as forças da mola no sentido do fechamento quanto do fluido na direção de abertura da válvula.
Guia	Dar alinhamento à haste para que a sede seja assentada perfeitamente horizontal no bocal.
Suporte da sede	Tem a função de garantir o alinhamento interno da sede quando de sua deposição no bocal.
Sede superior (disco)	Tem a função de garantir em conjunto com o bocal a vedação do lado montante da válvula. Ele bloqueia o fluxo do produto quando a válvula encontra-se fechada e simplifica a passagem do fluido quando a válvula está em operação.
Sede inferior (bocal)	Está sempre em contato com o fluido do processo. Tem a função juntamente com o disco de garantir a vedação montante da válvula.
Anel blowdown	Tem a função de ajustar o set de fechamento da válvula. Obs.: Existem válvulas que possuem este anel superior e inferior e podem ajustar disco e bocal respectivamente.
Fole	Ele é um importante componente de uma válvula balanceada. Tem a função de proteger os internos da parte superior do produto de operação, ajuda a evitar o enchimento da válvula de produto impedindo sua abertura quando existir um vazamento.
Castelo	Tem a função de limitar os internos no interior da válvula, da suporte para o parafuso de ajuste. Ele acopla no corpo da válvula através de parafusos prisioneiros.
Corpo	Possui as entradas montante e jusante. Possui o acoplamento para o bocal, assentamento do guia, tem os furos para os parafusos prisioneiros do castelo.
Alavanca	Tem a função para o acionamento manual da válvula quando a mesma apresentar algum emperramento.
Parafusos trava do anel blowdown	Tem a função de travar os anéis após ajust

Quadro 2.3 Especificação dos principais elementos de uma válvula de segurança e/ou alívio

Item	Descrição
Canal de dreno do corpo	Tem a função de drenar fluido acumulado quando em alguns processos.

Fonte: RIBEIRO (1999); RIBEIRO (2002); MATHIAS (2014); SILVA (2010); SANTOS ET AL (2002), Telles(2001)

2.4.1.4 Manutenção

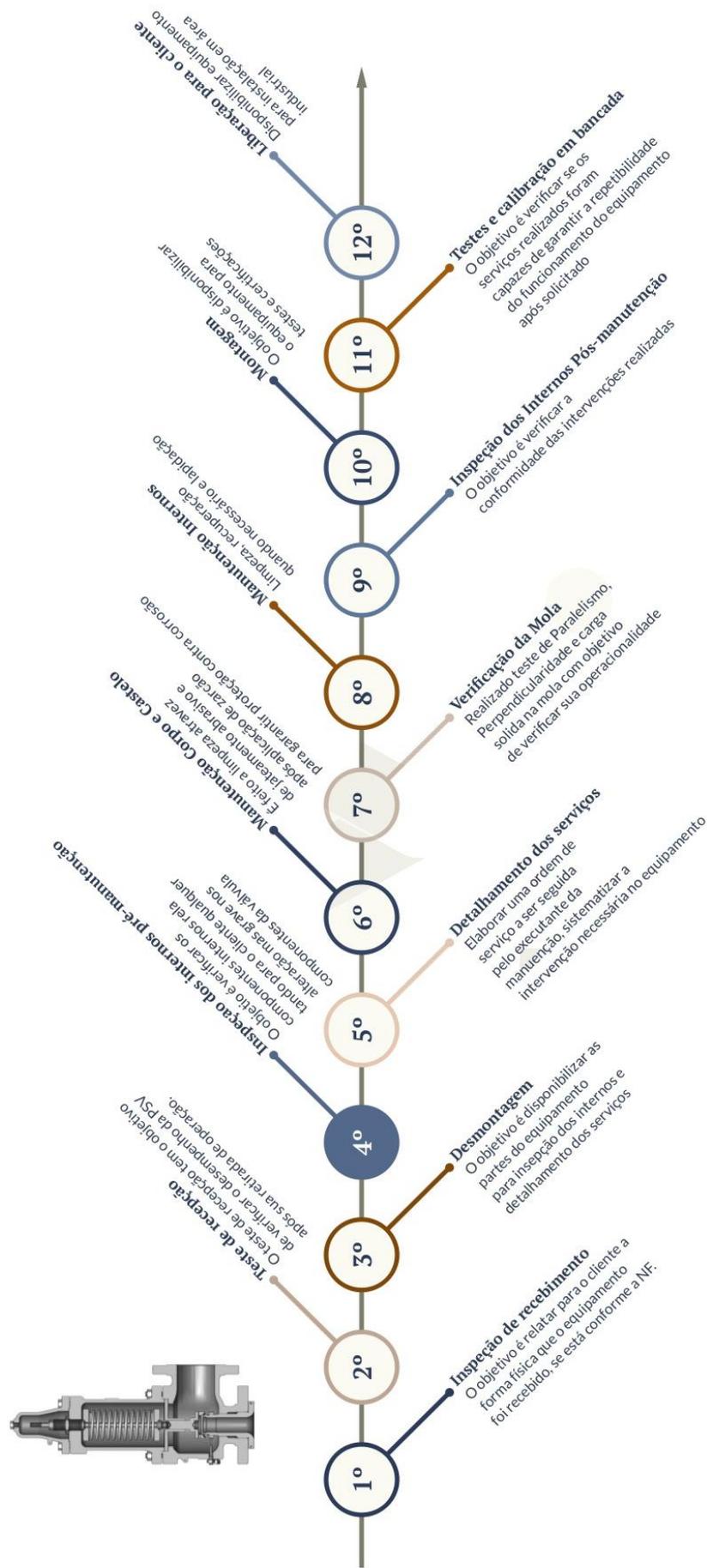
As intervenções programadas são pontos fundamentais para a garantia das manutenções realizadas em válvulas de segurança e/ou alívio. Ribeiro (1999) retrata a importância de verificações nestes tipos de válvulas no mínimo uma vez a cada ano em operação, mas muitas das vezes, devido às reduções de custos, os planos de manutenção não são seguidos à risca e a manutenção preventiva acaba ficando de lado.

As válvulas de segurança avaliadas pelo seu comportamento durante a operação da planta industrial não devem ter a confiabilidade ligada a este aspecto. Em alguns casos elas não apresentam inconformidades operacionais durante a produção, fato que ocorre devido à normalidade produtiva industrial. Esta situação acaba gerando uma visão distorcida sobre o bom comportamento da válvula, transmitindo uma falsa impressão sobre seu correto emprego na malha industrial, pois ela pode estar com defeito mais nunca ter sido solicitada a operar Santos et al (2002).

Nas visões de Carvalho (2015) e Botelho (2015) as válvulas de segurança e/ou alívio podem ser consideradas como elementos frágeis devido ao seu processo de calibração, uma vez que choques físicos severos podem comprometer o equipamento e seu funcionamento quando solicitado. Na Figura 2.4 abaixo é descrito um processo de manutenção desempenhado por uma empresa especializada em manutenção de válvulas industriais.

Figura 2.4 Descrições das etapas do processo de manutenção de PSVs

DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO DE VÁLVULAS DE SEGURANÇA EM UMA EMPRESA ESPECIALIZADA



Fonte: Próprio autor

As válvulas são elementos fundamentais para o processo produtivo na indústria. Desempenham várias funções como controle de vazão de fluidos, bloqueio total e também alívio de pressão. Sem o emprego destes elementos não seria possível conceber a indústria da forma que vemos hoje em operação.

2.5 O Método DFA – Detrended Fluctuation Analysis

Através de metodologias diversas é possível mensurar a correlação em séries temporais (FILHO, 2009). Entre os variados métodos cita-se a análise R/S clássica, de Hurst (1951) e Mandelbrot (1972). Neste trabalho apresentaremos a correlação de uma série temporal por meio da análise de flutuações sem tendência, Detrended Fluctuation Analysis – DFA (PENG et al, 1994).

A análise de flutuações sem tendência do inglês Detrended Fluctuation Analysis (DFA) identifica e mensura autocorrelação de longo alcance em séries temporais não-estacionaria (PENG et al, 1994). Este método foi introduzido por Peng para análise de sequências gênicas de DNA (PENG et al., 1994a) e aplicado a partir de sua publicação em vários ramos da ciência como análise de raios-X estelar oriundos de sistemas binários (MORET et al. 2003); flutuações de eletroencefalograma de humanos (ROBINSON, 2003); em climatologia (DA SILVA et al, 2008; PEDRON, 2007) além de diversos outros campos da ciência.

O método DFA é definido a partir de cinco passos básicos, são eles:

1. Considere um sinal $u(i)$, onde $i = 1, \dots, N_{max}$ (número total de pontos da série). Integramos o sinal $u(i)$, e obtemos $y(k) = \sum_{i=1}^k u_i - \langle u \rangle$, onde $\langle u \rangle$ é o valor médio de u_i .
2. O sinal integrado $y(k)$ é dividido em boxes de igual comprimento n .
3. Para cada box de tamanho n , ajustamos um polinômio de grau l a $y(k)$, que chamamos $y_n(k)$, e este valor representa a tendência em cada box.
4. O sinal $y(k)$ é subtraído de $y_n(k)$ em cada box.
5. Assim para cada box de tamanho n a sua raiz quadrática média RMS $F(n)$ é calculado, isto é,

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N_{max}} \sum_{k=1}^N [y(k) - y_n(k)]^2}$$

É importante destacar que o cálculo descrito anteriormente deve ser repetido sistematicamente para diferentes amplitudes (boxes) de tamanho n . E, além disso, o ajuste $y_n(k)$ pode ser modelado para diferentes polinômios de grau m (PERAZZO et al, 2004).

Logo obtemos uma relação entre $F(n)$ e n , caracterizada (ou não) por uma lei de potência do tipo $F(n) \propto n^\alpha$, onde α será o expoente de correlação de longo alcance. Aqui se estabelece como se comporta o sistema pelo seu expoente α , ou seja, se $\alpha = 0,5$ temos uma série com característica de passeio aleatório. Para $\alpha < 0,5$ a série é anti-persistente, isto é, se o Andarilho, hipoteticamente por exemplo, der um passo para a direita a longo prazo dará um passo para a esquerda. Finalmente se $\alpha > 0,5$ a série é persistente, isto é, se o Andarilho, hipoteticamente por exemplo, der um passo para a direita a longo prazo dará um passo para a direita novamente (persiste no movimento).

Nos últimos anos o DFA foi estabelecido como uma ferramenta importante para a análise de correlações de longo alcance em séries temporais não-estacionárias. Para a análise segura de correlações de longo alcance, é essencial distinguir tendências das flutuações de longo alcance intrínseca nos dados. Tendências são causadas por efeitos externos. Tendências fortes nos dados podem conduzir a uma falsa descoberta de correlações de longo alcance, logo, o método DFA tem como principal vantagem a eliminação destas tendências.

2.6 O método DCCA – Detrended Cross-Correlation Analysis

A apresentado anteriormente o método Detrended Fluctuation Analysis realiza análise de auto-afinidade para uma Série Temporal. Contudo, o método DFA apresenta limitações quando se pretende realizar análises de correlações cruzadas entre duas séries temporais. Nesta perspectiva (PODOBNIK; STANLEY, 2008) desenvolveram o método chamado DCCA que é uma generalização do DFA que se propõe a estimar o expoente que caracteriza a correlação entre duas séries temporais com o mesmo número de pontos N , em regime não estacionário mesmo as duas séries temporais apresentando ou não correlação de longo alcance cruzada (ZEBENDE; MACHADO FILHO, 2009).

Ainda atual como ferramenta de estudo, o DCCA tem sido utilizado em várias áreas das ciências como, por exemplo: em teste de aleatoriedade de constantes

matemáticas (ZEBENDE; MACHADO FILHO, 2009), séries financeiras (PODOBNIK; STANLEY, 2008; ZHOU, 2008; SIQUEIRA JÚNIOR, et al., 2008; ARAÚJO; BEJAN; STOSIC, TATIJANA, 2008), em sinais biológicos (URSULEAN; LAZAR, 2009) e em outras áreas do conhecimento.

Com duas Séries Temporais $\{y_i\}$ e $\{y_i'\}$ com mesmo número de pontos em regime não estacionário podemos descrever o método DCCA conforme os passos abaixo:

Etapa 1: Integram-se as duas séries $\{y_i\}$ e $\{y_i'\}$ por meio das seguintes expressões,

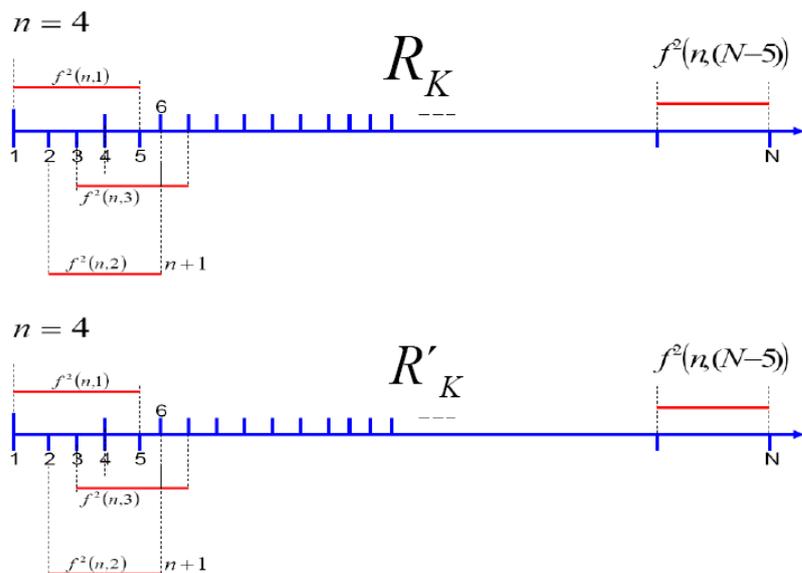
$$R_k = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_k$$

$$R_k' = y_1' + y_2' + y_3' + \dots + y_{k1}'$$

Onde $k = 1, \dots, N$

Etapa 2: Divide-se os sinais integrados R_k e R_k' em $N - n$ intervalos de tamanho n , cada contendo $n + 1$ valores. Para ambas séries temporais, em cada intervalo (que inicia em i e termina em $i + n$) define-se as tendências locais, isto é $\widetilde{R}_{k,i}$ e $\widetilde{R}_{k,i}'$ ($i \leq k \leq i + n$) como sendo a ordenada do ajuste linear (processo dos mínimos quadrados) da série somada.

Figura 2.5 Divisão dos Sinais integrados R_k e R_k' em $N - n$ intervalos (com superposição) de tamanho $n = 4$, cada um contendo $n + 1$ valores.



Fonte: (MACHADO FILHO, 2009).

Etapa 3: Calcula-se a partir do cálculo anterior a covariância dos resíduos em cada intervalo, ou seja:

$$\int_{DCCA}^2 (n, i) = \frac{1}{n} \sum_i^{i+n} (R_k - \widetilde{R}_{k,i}) (R_{k'} - R_{k,i'})$$

Etapa 4: Determina-se a função de correlação expressa como:

$$F_{DCCA}^2(n) = \frac{1}{N-1} \sum_{l=1}^{N-n} \int_{DCCA}^2 (n, i)$$

Segundo Peng et al(1994), de posse de duas séries temporais de mesmo tamanho N , é possível obter o mesmo resultado do método DFA aplicado para uma única série temporal. Assim, ao se repetir o procedimento descrito anteriormente para tamanhos diferentes de boxes n , é possível verificar a existência ou não de lei de potência, tal como:

$$F_{DCCA} \approx n^\lambda$$

onde λ descreve o coeficiente de correlação cruzada de longo alcance.

Neste capítulo serão descritas as ferramentas de apoio utilizadas para manipulação e análise dos dados, como foi realizada a pesquisa e os tratamentos dos dados.

2.7 Ferramentas estatísticas

Na visão de Gondim(2005) para construção de modelos não-determinísticos para fenômenos observáveis, algumas distribuições de probabilidade são mais usadas que outras. A seguir são apresentadas as distribuições mais empregadas Segundo Godim(2005).

2.7.1 Distribuições Aleatórias Discretas

2.7.1.1 Distribuição de Poisson

Esta distribuição é definida da seguinte forma, seja X uma variável aleatória discreta (VAD), tomando os seguintes valores $0, 1, \dots, n, \dots$. Se a função de densidade

for dada por $P(X = k) = \frac{\exp(-\alpha) \cdot \alpha^k}{k!}$, onde $k = 0, 1, 2, \dots, n, \dots$, então X tem a distribuição de Poisson, com parâmetro $\alpha > 0$. Com $E(X) = \alpha$ e a variância $V(X) = \alpha$. Estas são aplicadas para modelar eventos aleatórios que ocorrem com uma determinada frequência, onde a média α é conhecida e constante intervalo entre os eventos.

2.7.1.2 Distribuição Binomial

Seja X uma variável aleatória definida como o número de vezes que o evento B tenha ocorrido, então X é uma variável aleatória binomial com parâmetro n e p , com $P(B) = p$ (constante) e $n =$ número de repetições. Logo sendo X uma variável aleatória Binomial, baseada em n repetições com a sua função densidade $P(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n-k}$, $k = 0, 1, \dots, n$, então temos a distribuição binomial. A média será $E(X) = np$ e a variância $V(X) = np(1 - p)$. Este tipo de distribuição tem como principais aplicações a amostragem de reposição, número de sucesso em n tentativas independentes e número de itens defeituosos num conjunto de tamanho n .

2.7.1.3 Distribuição Geométrica

Sendo ξ um experimento e estamos interessados na ocorrência ou não ocorrência de algum evento A ; repetimos o experimento até ocorrer A pela primeira vez, sendo as repetições independentes e que cada repetição tenha $P(A) = p$ e $P(\bar{A}) = 1 - p = q$ sempre os mesmos.

Temos X o número de repetições necessárias para obter a primeira ocorrência de A , X terá sua função densidade dada por $P(X = k) = q^{k-1} p$, $k = 1, 2, \dots$ regida pela distribuição geométrica.

A média será $E(X) = \frac{1}{p}$ e a variância $V(X) = \frac{q}{p^2}$ sendo aplicada principalmente para definir o número de insucessos antes do primeiro sucesso em n amostragens, número de amostragens necessárias até obter um sucesso, número de itens retirados até encontrar um defeituoso.

2.7.1.4 Distribuição Hipergeométrica

Suponha que tenhamos um lote de N peças, com r peças defeituosas e $(N-r)$ não defeituosas. Se escolhermos ao acaso n peças deste lote sem reposição, e X o

número de peças defeituosas encontradas. Sua função de densidade dado por $P(X = k) = \frac{\binom{r}{k} \binom{N-r}{n-k}}{\binom{N}{n}}$, $k = 0, 1, 2, \dots$, então temos a distribuição hipergeométrica.

A média será $E(X) = np$ e a variância $V(X) = npq \frac{N-n}{N-1}$, onde $p = r/N$ e $q = 1 - p$. Esta distribuição é aplicada para amostragem sem reposição, número de sucesso em n tentativas independentes e número de itens defeituosos num conjunto de tamanho n .

2.7.2 Distribuições Aleatórias Contínuas

2.7.2.1 Distribuição Normal

Seja X variável aleatória, que tome os valores reais $-\infty < x < +\infty$, e sua função densidade de probabilidade dada por $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$, temos uma distribuição normal $N(\mu, \sigma^2)$.

A média será $E(X) = \mu$ e a variância $V(X) = \sigma^2$. Esta distribuição tem como função identificar erros de diversos tipos, ruídos, valores que são a soma de grande número de outros valores e desgaste de componentes.

2.7.2.2 Distribuição Exponencial

Seja X variável aleatória, que tome todos os valores não negativos. e sua função densidade de probabilidade dada por $f(x) = \alpha \exp(-\alpha x)$, $x \geq 0$, temos uma distribuição exponencial, com parâmetro $\alpha > 0$.

A média será $E(X) = \frac{1}{\alpha}$ e a variância $V(X) = \frac{1}{\alpha^2}$ este método é utilizado normalmente para representar a duração de um determinado serviço, intervalo de tempo até a falha de uma peça de um equipamento e também fadiga.

2.7.2.3 Distribuição Gama

Seja X uma variável aleatória contínua, que tome somente valores não negativos, com função densidade de probabilidade dada por $f(x) = \frac{\alpha^r}{\Gamma(r)} (\alpha x)^{r-1} e^{-\alpha x}$, $x > 0$, e os parâmetros $r \geq 1$ e $\alpha > 0$.

Sendo $\Gamma(r)$ a função Gama definida como $\Gamma(p) = \int_0^{\infty} x^{p-1} e^{-x} dx$, $p > 0$.

Para $r = 1$ a fdp da distribuição Gama fica idêntica à distribuição exponencial $f(x) = \alpha \exp(-\alpha x)$. Para $r \in \mathbb{Z}_+$ a função densidade de probabilidade da distribuição Gama pode ser generalizada dada pela forma $f(x) = \frac{\alpha}{(r-1)!} (\alpha x)^{r-1} e^{-\alpha x}$, a partir desta função podemos usar a função densidade $F(X) = 1 - p(X > x)$ e mostrarmos que a função densidade da distribuição Gama é igual a fd da distribuição de Poisson.

A média será $E(X) = \frac{r}{\alpha}$ e a variância $V(X) = \frac{r}{\alpha^2}$. Esta distribuição é utilizada principalmente para determinar tempo para realização de tarefas etc.

2.8 Distribuição de Weibull

A análise de Weibull é um processo estatístico para modelagem de informações envolvendo grupos de informações, relacionado à confiabilidade. O estudo que rege a distribuição de Weibull realiza análises para a determinação do tempo de vida de um objeto, verifica a confiabilidade de produtos projetados, estabelece meios estatísticos que fundamentam as formas de determinar garantias e mais importante, estabelecer previsões de intervenções de manutenção em equipamentos ou sistemas industriais, é uma das distribuições mais comumente usadas para modelar dados não-normais e a depender dos valores de seus parâmetros pode ser apresentada como casos particulares de diversas distribuições, neste caso sua aplicação é muito versátil tendo uma de suas principais vantagens ser similar às características dos outros tipos de distribuições, tornando-a muito flexível no ajuste de diferentes tipos de dados podendo ser aplicada com sucesso em casos de distribuição normal e exponencial.

2.8.1 Termos e equações fundamentais

Tendo com base a definição trazida Yiqi (2012) e Bertsche (2008) confiabilidade pode ser definida como a probabilidade de um equipamento realizar sua função conforme projeto, por um tempo determinado e conhecido. Analisando a função de confiabilidade percebe-se que este evento é complementar ao tempo de falha. Nesta perspectiva faz-se necessário a utilização de instrumentos quantitativos adequados a medir o risco de falha de um dado componente. Matematicamente a função de confiabilidade é dada pela equação abaixo:

$$C(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (1)$$

Onde $C(t)$ é a confiabilidade, $f(t)$ é a função da densidade de probabilidade (f.d.p) e t é o período de vida útil.

A distribuição de Weibull é vastamente empregada em análises de sobrevivência. Pode ser apresentada em três parâmetros, neste caso quando o parâmetro de posição é levado em consideração, este parâmetro estabelece a vida inicial do item verificado, mas muitas vezes este parâmetro é desprezado e a função da distribuição de Weibull passa a ser biparamétrica. A distribuição de Weibull com três parâmetros está definida abaixo.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (2)$$

Onde podemos considerar $t > 0$; $\beta > 0$ e $\eta > 0$. “ t ” é a variável que define o período de vida útil podendo ser expresso em distância percorrida (km), em número de ciclos (n) ou em tempo de funcionamento (h); “ β ” é o parâmetro de forma, “ η ” é o parâmetro de escala e “ γ ” é o parâmetro de posição. Os parâmetros β e η serão caracterizados ao logo deste capítulo.

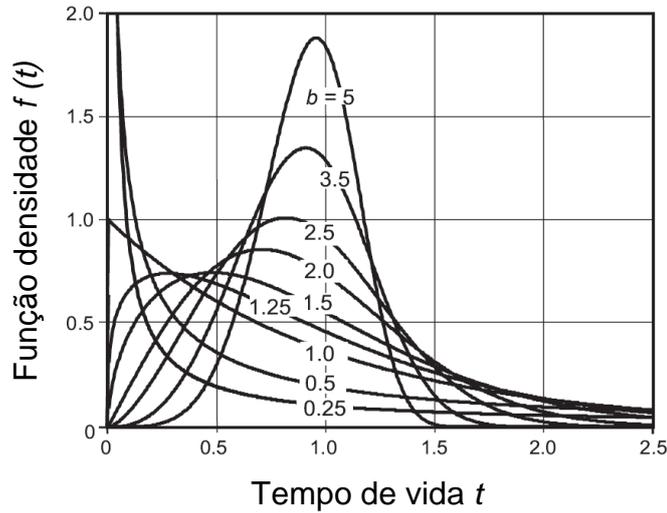
Quando o “ γ ” é igualado a zero, a função passa a ser biparamétrica, conforme está definido abaixo. O parâmetro de posição define a vida inicial do equipamento em análise.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta} \quad (3)$$

Com a distribuição Weibull, muitos comportamentos diferentes de falha podem ser descritos. As funções de densidade para a distribuição de Weibull ilustram isso, conforme podemos observar na Figura 2.6. A função de densidade varia dependendo do parâmetro para a distribuição. O parâmetro de forma β . Para valores baixos de β ($\beta < 1$), o comportamento de falha pode ser descrito de forma similar à da distribuição exponencial, o comportamento começa com uma frequência de falha muito alta e a partir daí diminui continuamente. Uma distribuição exponencial exata resulta em $\beta = 1$. Para $\beta > 1$, a função de densidade sempre começa em $f(t) = 0$, atinge um máximo com o aumento da vida útil e diminui lentamente novamente. O

máximo da função de densidade muda para a direita com o aumento dos valores do parâmetro de forma. A distribuição normal pode ser reproduzida aproximadamente para um parâmetro de forma em $\beta = 3.5$.

Figura 2.6 Função densidade $f(t)$ da distribuição de Weibull para vários parâmetros de forma β



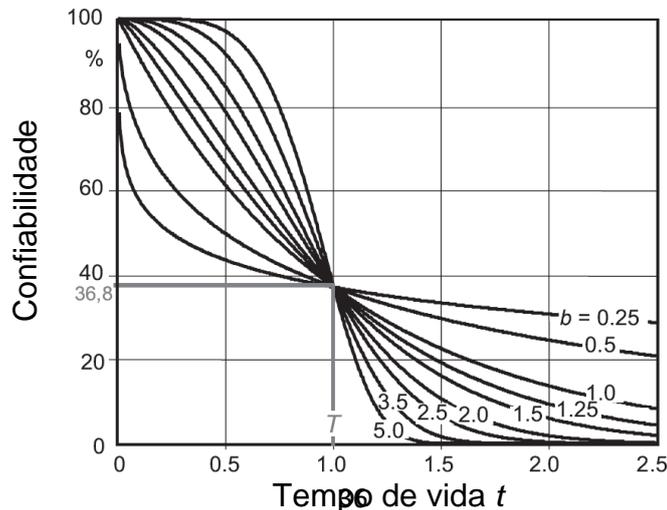
Fonte: Adaptado BERTSCHE (2008)

Substituindo esta equação na de confiabilidade, passamos a ter uma distribuição de confiabilidade determinada através dos parâmetros de forma e escala estabelecidos na distribuição de Weibull conforme ilustrado na função abaixo:

$$C(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (4)$$

Na Figura 2.7 é possível verificar o comportamento das curvas da distribuição de confiabilidade.

Figura 2.7 Função Confiabilidade $C(t)$ da distribuição de Weibull para vários parâmetros de forma β



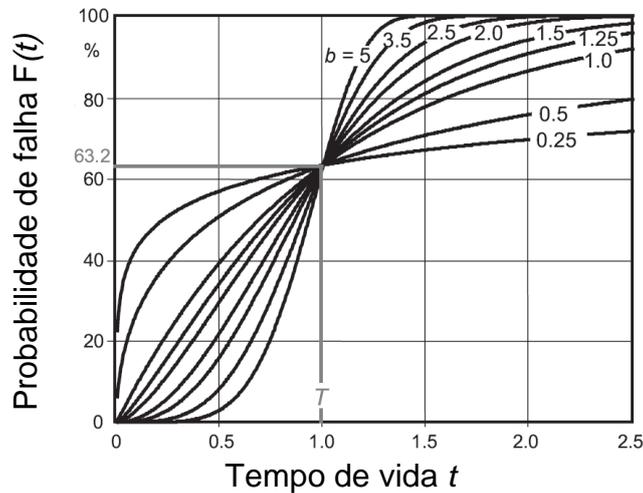
Fonte: Adaptado BERTSCHE (2008).

A distribuição de probabilidade de falha, levando em consideração a distribuição de Weibull biparamétrica, é dada por:

$$F(t) = 1 - C(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (5)$$

Na Figura 2.8 é possível verificar várias características de curvas da função de probabilidade de falha, variando o parâmetro de forma.

Figura 2.8 Função Probabilidade de falha $F(t)$ da distribuição de Weibull para vários parâmetros de forma β



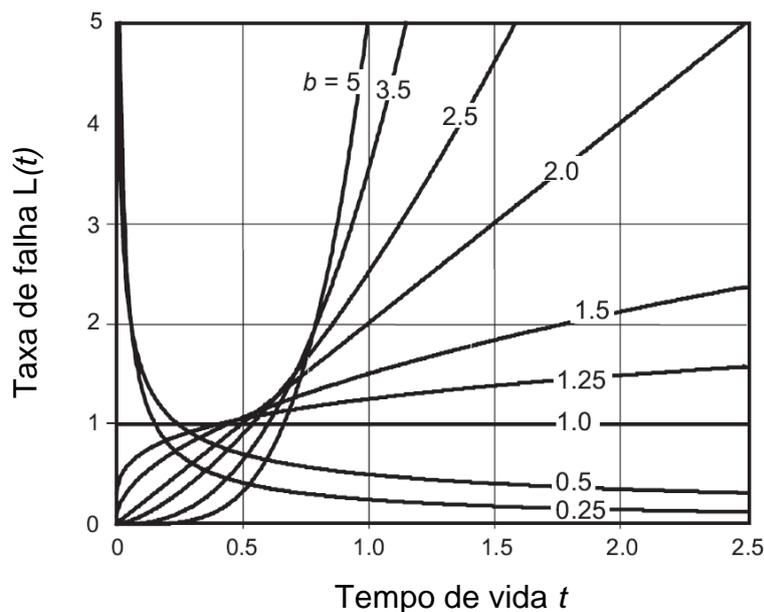
Fonte: Adaptado BERTSCHE (2008).

Tomando como referência a distribuição de Weibull biparamétrica, uma função importante a ser avaliada é a da taxa de falhas, ela estabelece uma relação entre as falhas em um determinado tempo de vida e o número de componentes sujeitos a falhas. Matematicamente a função segue abaixo:

$$L(T) = \frac{f(T)}{C(T)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (6)$$

Na Figura 2.9 vemos as características das curvas da distribuição da taxa de falhas.

Figura 2.9 Função da taxa de falha $F(t)$ da distribuição de Weibull para vários parâmetros de forma β

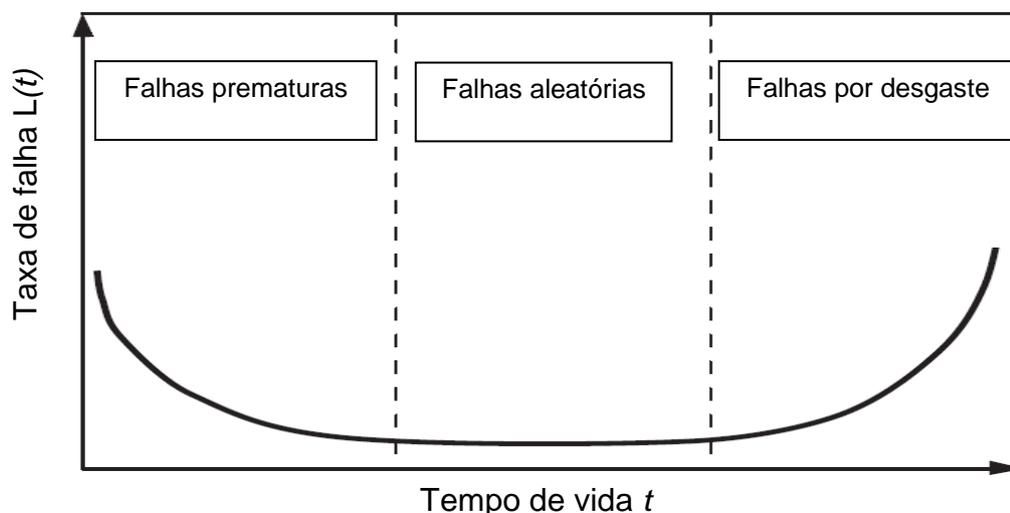


Fonte: Adaptado BERTSCHE (2008).

As várias taxas de falha para a distribuição de Weibull podem ser divididas em três seções, que são idênticas às três seções da curva da banheira conforme Figura 2.10. A parte inicial da curva retrata as falhas prematuras que podem ser caracterizadas por falhas de montagem, falha de produção, material mal especificado, falha de projeto, entre outras. A parte central da curva retrata as falhas aleatórias que podem ser causadas por falha de operação, partículas de sujeira, falhas de manutenção, etc. já a parte final da curva retrata as falhas por desgaste, elas são caracterizadas por falhas por fadiga, envelhecimento, corrosão, entre outras.

Para cada parte da curva é possível intervir com ações que reduzem as probabilidades de falhas. No caso da parte inicial da curva é possível aplicar ensaios práticos, produção com controle de qualidade, entre outras. Na parte central da curva uma operação adequada, práticas corretas de manutenção e correto uso e aplicação podem ser uma saída para a redução de falhas aleatórias. Já na parte final da curva é necessário um acompanhamento dinâmico do equipamento em análise aplicando cálculos relacionados a falhas e a prática de ensaios para avaliação da situação do componente.

Figura 2.10 Curva da banheira



Fonte: Adaptado BERTSCHE (2008).

Os parâmetros de forma e escala estabelecem informações importantes quanto à distribuição em análise. Quando $\beta < 1$, as taxas de falha diminuem com o aumento da duração de operação, isto descreve as falhas iniciais; quando $\beta = 1$, a taxa de falha é constante. O parâmetro de forma $\beta = 1$ é adequado para a descrição de falhas aleatórias nas falhas constantes da curva da banheira; $\beta > 1$, as taxas de falha aumentam drasticamente com o aumento da vida útil. Falhas de desgaste podem ser descritas com valores maiores de β maiores que 1.

O parâmetro de escala na distribuição de Weibull retrata uma informação muito importante quanto a probabilidade de falhas e a confiabilidade dos itens em análise. O valor do parâmetro de escala ou vida característica η define que 63,2% dos itens em análise falham até o tempo t e, portanto 36,8% dos itens não apresentam falhas, ou seja, possui confiabilidade de não falharem até o tempo t .

3. Metodologia e Métodos

Para a elaboração do estudo foram avaliadas 2.174 válvulas de segurança que passaram por manutenção corretiva em um centro de manutenção especializado de reparo de válvulas industriais, sem qualquer interferência nos processos de manutenção adotados pelo corpo técnico da empresa. Foram avaliados o histórico dos itens selecionados. Estes equipamentos tiveram um total de 5.792 falhas ao longo dos anos de 2013 a 2017, para caracterizar uma falha, sem que houvesse uma

definição deturpada, foi estabelecido o registro do equipamento no Software de gestão e planejamento da empresa e que este tivesse informações de intervenções de manutenção. Estas válvulas são oriundas da indústria do Polo Industrial de Camaçari. A Tabela 3.1 mostra a quantidade de falhas por itens reparados.

Tabela 3.1 Falhas relacionadas às recuperações realizadas em válvulas de segurança e/ou alívio

Quantidade de falhas	Válvulas reparadas	Total de entradas
2	1438	
3	429	
4	179	
5	52	
6	26	
7	13	
8	12	
9	7	5795
10	6	
12	4	
14	2	
17	4	
21	1	
22	1	

Fonte: Autor

Após reparo das válvulas o centro de manutenção especializado oferece garantia de seis meses (180 dias) sobre os serviços realizados. Este prazo não é justificável cientificamente, pois não há avaliações que resultem na determinação deste período, não tão menos importante apenas conhecimento adquirido através da experiência é levado em consideração para determinação de prazos de garantia.

Por meio da distribuição de Weibull levando em consideração os dados obtidos, avalia-se se este prazo está corretamente definido ou haverá a oportunidade de definir um prazo que garanta uma probabilidade de falha mínima, considerando a correta manipulação do equipamento até sua disponibilidade operacional, após manutenção.

Para determinar os parâmetros de escala e parâmetros de forma foi necessário a linearização da função de distribuição Weibull conforme equação 3.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} (t)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$f(t) = 1 - C(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$1 - f(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$1 - f(t) = \frac{1}{e^{\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}}$$

$$\frac{1}{1 - f(t)} = e^{\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$\ln\left(\frac{1}{1 - f(t)}\right) = \ln\left(e^{\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}\right)$$

$$\ln\left(\frac{1}{1 - f(t)}\right) = \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta$$

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - f(t)}\right)\right) = \beta \ln\left(\frac{t}{\eta}\right)$$

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - f(t)}\right)\right) = \beta (\ln(t) - \ln(\eta))$$

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - f(t)}\right)\right) = \beta \ln(t) - \beta \ln(\eta)$$

$$Y = \beta t + C$$

O parâmetro de forma β é o coeficiente angular da reta e através do termo independente determina-se o parâmetro de escala.

$$C = -\beta \ln(\eta)$$

$$\eta = e^{-\frac{C}{\beta}}$$

Foi estabelecida uma estimativa de forma não paramétrica da probabilidade acumulada de falhas pelo método de regressão de Bernard, Crowder et al (1991) onde é estabelecido uma análise estatística com o objetivo de averiguar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis

independentes. Em outras palavras consiste na obtenção de uma equação que tenta explicar a variação da variável dependente pela variação do nível da variável independente.

O modelo estatístico para este contexto seria dado por:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i \quad (7)$$

Em que:

- Y_i = valor observado para variável dependente Y no i -ésimo nível da variável independente X .
- β_0 = constante de regressão. Representa o intercepto da reta com o eixo dos Y .
- β_1 = coeficiente de regressão. Representa a variação de Y em função da variação de uma unidade da variável X .
- X_i = i -ésimo nível da variável independente $X (i = 1, 2, 3, \dots, n)$.
- e_i = é o erro que está associado à distância entre o valor observado Y_i e o correspondente ponto na curva, do modelo proposto, para o mesmo nível i de X .

Para se obter a equação estimada, utiliza-se o método dos mínimos quadrados, visando a minimização dos erros. Assim, tem-se que:

$$e_i = Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i \quad (8)$$

Elevando ao quadrado os membros da equação temos:

$$e_i^2 = (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2 \quad (9)$$

Aplicando o somatório,

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2 \quad (10)$$

Por meio da obtenção de estimadores de β_0 e β_1 , que minimizem o valor obtido na expressão anterior, é possível alcançar a minimização da soma de quadrados dos erros.

Para se encontrar o mínimo para uma equação, deve-se derivá-la em relação à variável de interesse e igualá-la a zero. Derivando então a expressão acima em relação a β_0 e β_1 , e igualando-as a zero, obtém-se duas equações que, juntas, vão compor o chamado sistemas de equações normais. A solução desse sistema fornecerá:

$$\hat{\beta} = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n}}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}} \quad \text{e} \quad \hat{\beta} = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} \quad (11)$$

Então poderemos escrever a equação estimada, dada por:

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i \quad (12)$$

Os parâmetros encontrados a partir das tratativas desta distribuição estão concatenados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Resultados dos parâmetros da distribuição de Weibull.

Parâmetros	Resultados
Forma (β)	1,134
Escala (η)	363,795
Média	347,687
Falhas	2174
MTBF	324

Fonte: Autor.

As distribuições aqui apresentadas com suas respectivas aplicações são todas importantes, mas algumas são mais usadas que outras devido à abrangência de casos a serem usadas. A distribuição de Weibull se mostra mais eficiente na manutenção preditiva, pois dependendo do valor do fator de forma β , ela engloba os

casos mais importantes de distribuições, constituindo-se, assim, numa poderosa ferramenta de análise e controle estatístico.

A análise de manutenção em válvulas, aqui estudadas, baseia-se em dois contextos distintos. O primeiro supõe que o estado do componente após a manutenção é tão bom como novo, o que significa que sua idade é restaurada para zero depois que uma atividade de manutenção é executada. O segundo assume que a manutenção deixa o componente em uma condição tão ruim quanto velho, significando que sua idade é a mesma depois de realizada a manutenção se comparada com a situação imediatamente antes da manutenção. Nesta dissertação nos basearemos no primeiro contexto, ou seja, a de que após a manutenção o componente terá sua idade restaurada. Para realizar os cálculos dos parâmetros, será utilizada a ferramenta Excel e o módulo de ferramenta de análise deste software.

Consideram-se os equipamentos que de tempos em tempos, devido a sua condição operacional, falham com relação a sua função principal demandando manutenção corretiva. Então é calculado o tempo ótimo para a realização da manutenção onde este prazo pode ser definido como o intervalo de tempo onde o equipamento apresentará baixa probabilidade de falha para o contexto operacional.

Para o cálculo da confiabilidade, inicialmente concatenamos a amostragem de tempo até a falha em ordem crescente dos dados. Como relatado, foi coletado o tempo de falha dos equipamentos antes de cada falha. A Tabela 3.3 mostra os itens observados de forma fracionada do total de itens observados.

Tabela 3.3 Amostragem parcial dos tempos de falha de válvulas de segurança

Item	Média de Tempo de Falha (TTF) em dias
978	268,00
979	268,50
980	268,50
981	268,67
982	269,25

Fonte: Autor.

Pelos valores totais do estudo pode-se perceber que em média os equipamentos levam 348 dias para falhar, no entanto esta informação não pode ser levada em consideração, pois uma quantidade pequena de itens pode ter intervalos de falha elevados e isto pode influenciar na média de falha total da amostra.

Para a realização da simulação com objetivo de se ter um prazo ótimo definido como tempo de garantia é preciso a partir dos dados de tempo até a falha elaborar uma outra tabela. Este processo está descrito na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 linearização da Distribuição de Weibull para determinação de prazo de manutenção ótimo.

Média de tempo de falha	Rank	Median rank	1/(1-median rank)	Ln(Ln(1/(1-median rank)))	Ln(TTF da válvula)
268,00	978	0,44964128	1,816996741	-0,515528338	5,590986981
268,50	979	0,450101177	1,81851635	-0,514129448	5,592850914
268,50	980	0,450561074	1,820038503	-0,512731344	5,592850914
268,67	981	0,451020971	1,821563207	-0,511334024	5,593471454
269,25	982	0,451480868	1,823090467	-0,509937485	5,595640316

Fonte: Autor

Onde:

- Média de tempo de falha é o tempo até a falha;
- Rank é a sequência de acordo com a quantidade de amostras;
- Median rank determinada de acordo com a aproximação de Bernad $F(x) \cong \frac{Rank(x)-0,3}{n+0,4}$, onde n é considerado o número total de medições e $Rank(x)$ o valor da medida correspondente à posição x , quando os valores coletados das medidas forem disponibilizados em ordem crescente.
- Os demais itens estão descritos na própria planilha.

Observa-se que o passo descrito aqui trata-se da linearização da distribuição de Weibull e sua função é determinar um prazo ótimo de intervenção.

Após a planilha finalizada, determina-se os parâmetros de forma e escala da distribuição de Weibull, o que já foi apresentado na Tabela 3.5.

A partir destes parâmetros determina-se as distribuições de confiabilidade, probabilidade de falhas e taxa de falha, as duas primeiras são complementares.

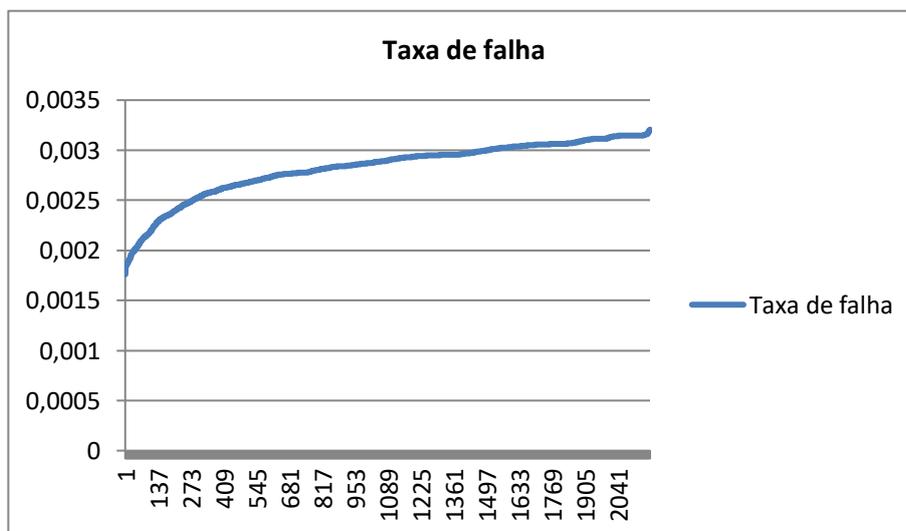
Tabela 3.5 Resultados da Média de Tempo de Falha, distribuições de Confiabilidade C(t), Probabilidade de falha F(t) e Taxa de falha

TTF	F(t)	C(t)	Taxa de falha
268,00	0,504132909	0,495867091	0,002862904
268,50	0,504842274	0,495157726	0,002863405
268,50	0,504842274	0,495157726	0,002863405
268,67	0,50507853	0,49492147	0,002863572
269,25	0,505904649	0,494095351	0,002864154

Fonte: Autor.

Pela simulação realizada, os gráficos da Figura 3.1, Figura 3.2 e Figura 3.3 abaixo foram estabelecidos a título comparativo com dados tratados através de software específico.

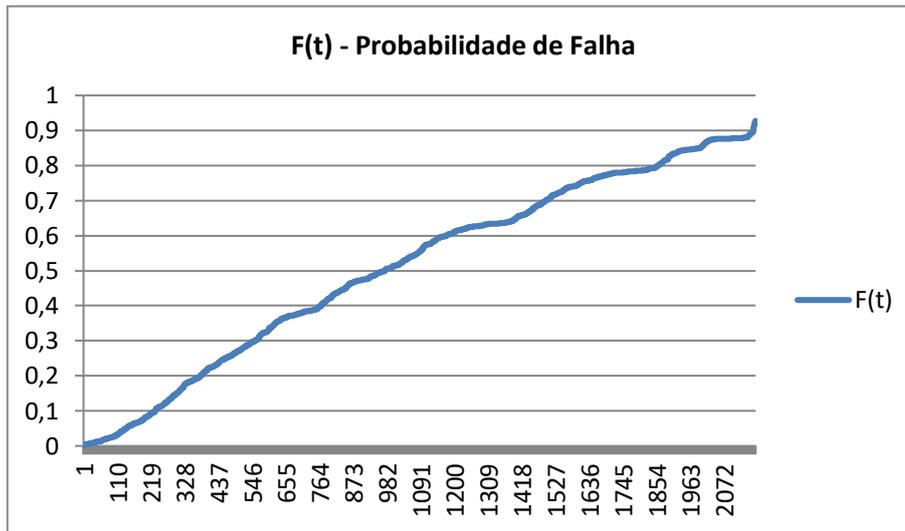
Figura 3.1 Distribuições da taxa de falhas. Período em dias



Fonte: Autor

A função de taxa de falha é a taxa instantânea de falha em um determinado tempo. As características de uma função são frequentemente associadas a determinados produtos e aplicações. Como em nosso caso é crescente e indica que os itens têm mais probabilidade de falhar com o tempo.

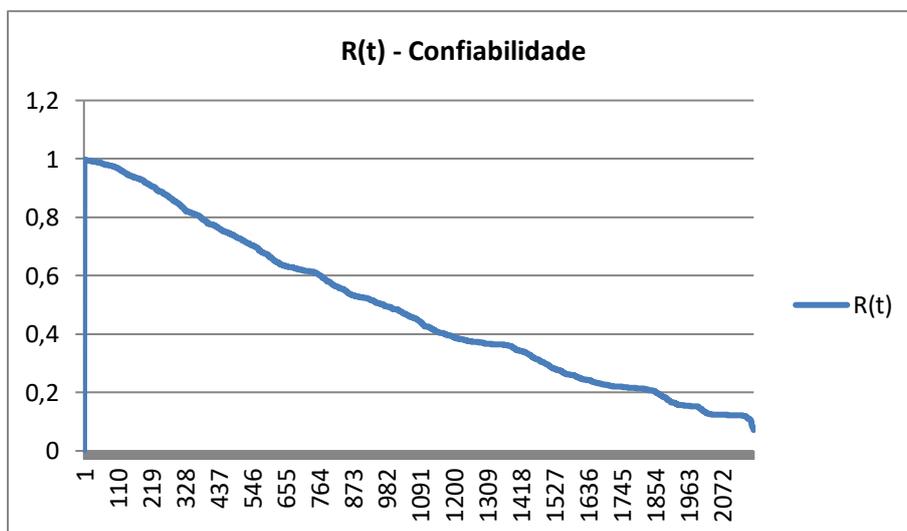
Figura 3.2 F(t) - Probabilidade de Falha



Fonte: Autor

Naturalmente a Distribuição de Probabilidade de Falha apresenta um comportamento crescente, esta característica é estabelecida devido ao uso dos equipamentos e naturalmente apresentam maior probabilidade de falha com o tempo em operação.

Figura 3.3 R(t) - Confiabilidade



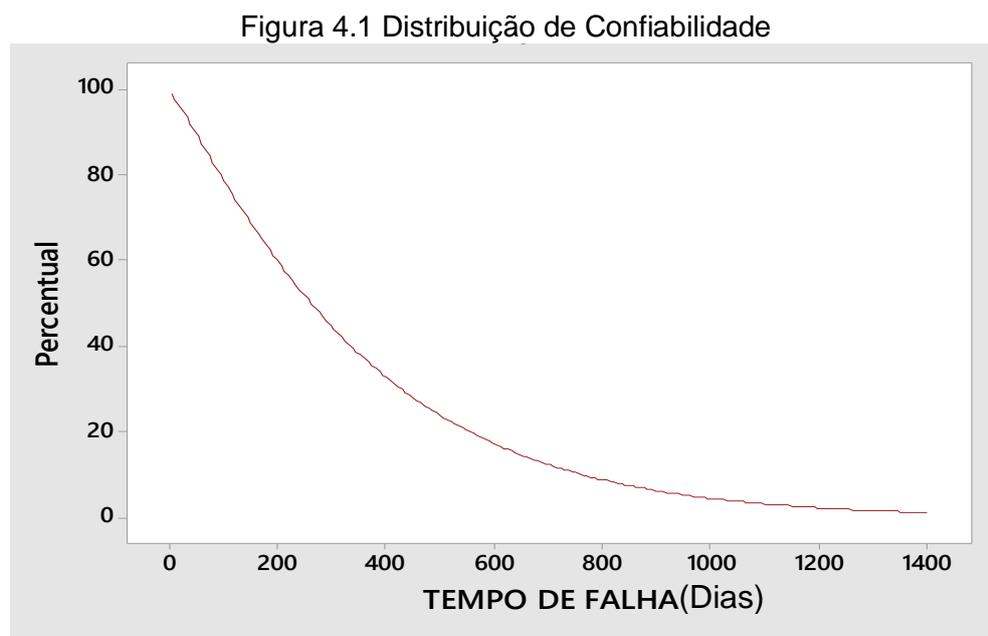
Fonte: Autor

Neste caso a Distribuição de Confiabilidade é um complementar da Probabilidade de Falha e seu comportamento é naturalmente decrescente.

4. Resultados e Discussões

A

Figura 4.1 mostra o gráfico de sobrevivência, nele é possível verificar a distribuição de probabilidade que a válvula sobreviverá até determinado instante. Conseqüentemente, este gráfico mostra a confiabilidade das válvulas ao decorrer do tempo. O gráfico apresenta percentual elevado de confiabilidade para tempos reduzidos, este fato mostra que há uma tendência natural de falha ao passo que o equipamento é exigido em operação.



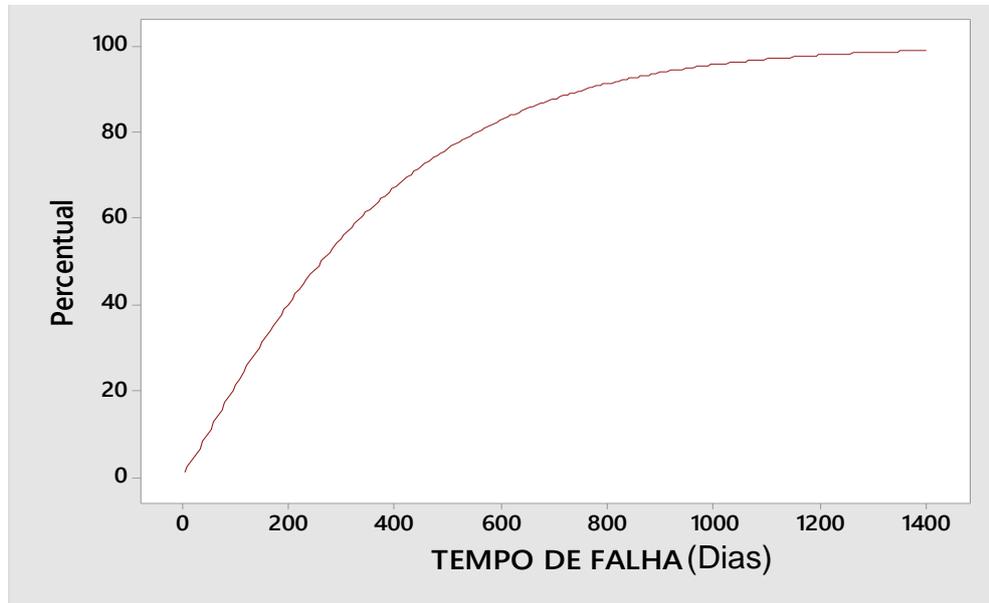
Fonte. Autor

O parâmetro de forma β está localizado na terceira parte da curva da banheira, e ele caracteriza uma tendência de falhas provocadas por desgaste ao longo do tempo de uso das válvulas. O parâmetro de escala η , ele se aproxima do valor da média e nos relata, segundo a teoria de Weibull, que 63,2% das válvulas falham em até 364 dias em operação.

Em análise aos dados apresentados é possível concluir que 36,8% das válvulas não irão falhar em até 364 dias. A função de distribuição de falhas acumuladas, conforme Figura 4.2, descreve a confiabilidade da válvula em referência

de qual momento irá ocorrer a falha. Este gráfico mostra em porcentagem acumulada de válvulas que falham por um determinado tempo, t . A função que rege o gráfico em análise, também pode ser representada por função de sobrevivência.

Figura 4.2 Distribuição de falhas acumuladas ao longo do tempo

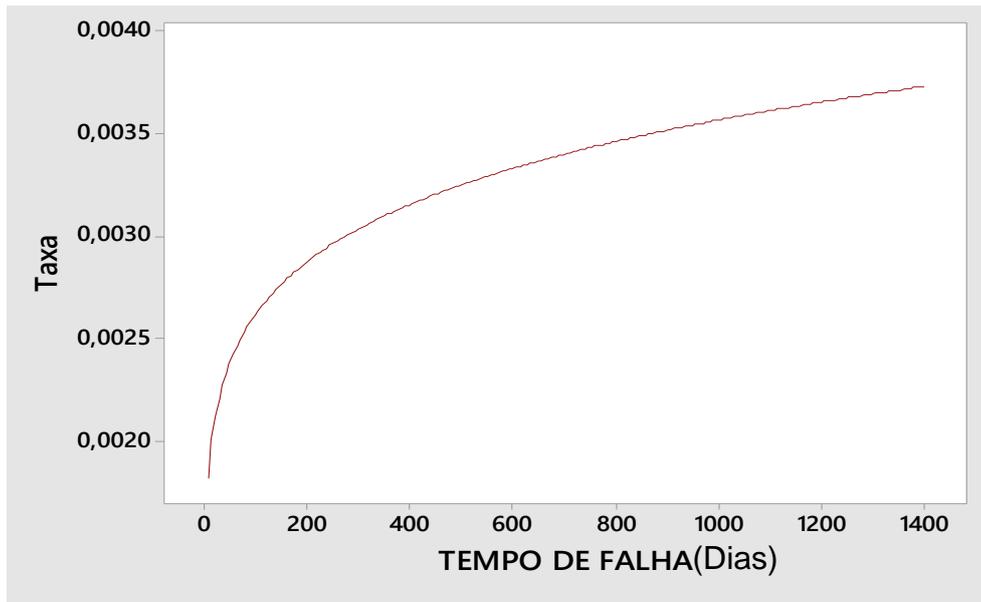


Fonte. Autor.

O comportamento da função de taxa de falha, conforme

Figura 4.3, mostra uma curva tendendo ao crescimento ao passar do tempo, quando seria viável que a mesma se apresente baixa e constante. O comportamento exibido pelo gráfico remete à curva da banheira, apresentado anteriormente, quando um determinado componente alcança a fase característica de desgaste. Este tipo de curva é característica de falhas de válvulas de segurança industrial, BERTSCHE (2008). O comportamento descreve uma propensão à válvula falhar com a idade, um risco crescente normalmente é apresentado em momentos onde a vida útil da válvula já foi alcançada, caracterizada comumente pelo desgaste. Ao passar do tempo a curva tende a ser constante, neste caso, o comportamento das falhas também se torna constante e geralmente as falhas que se apresentam podem ser consideradas aleatórias.

Figura 4.3 Função da taxa de falha ao longo do tempo

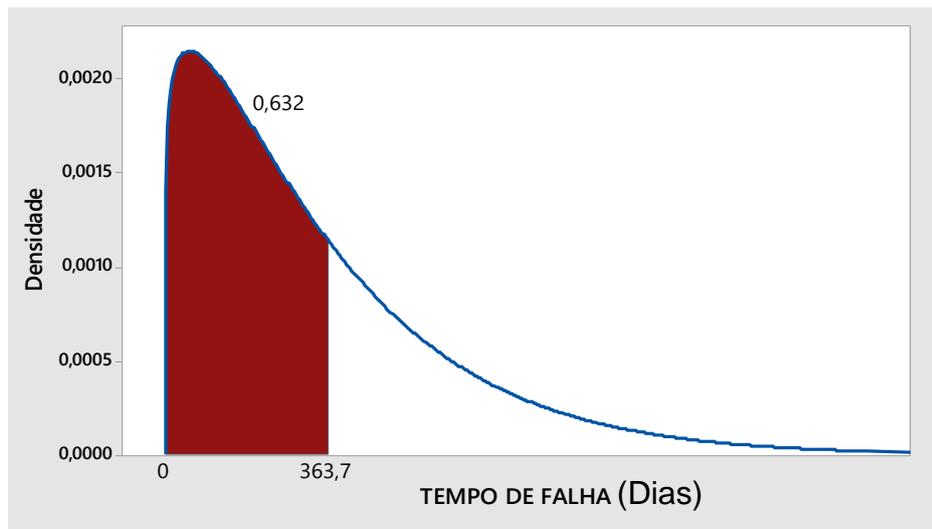


Fonte. Autor.

A Figura 4.4 mostra o gráfico de distribuição de probabilidade considerando a distribuição de Weibull. A área pintada corresponde a 63,2% das probabilidades de falha de uma válvula, em até 364 dias em operação (Parâmetro de escala).

Tendo como referência o gráfico exposto e a função de distribuição biparamétrica de Weibull não é viável a determinação de prazos de garantia de 180 dias, este valor nos remete uma probabilidade de falhar de aproximadamente 36% de falhas, sendo que isto contabilizaria a probabilidade de retorno de aproximadamente 782 válvulas neste período.

Figura 4.4 Distribuição e probabilidade de Weibull



Fonte Autor.

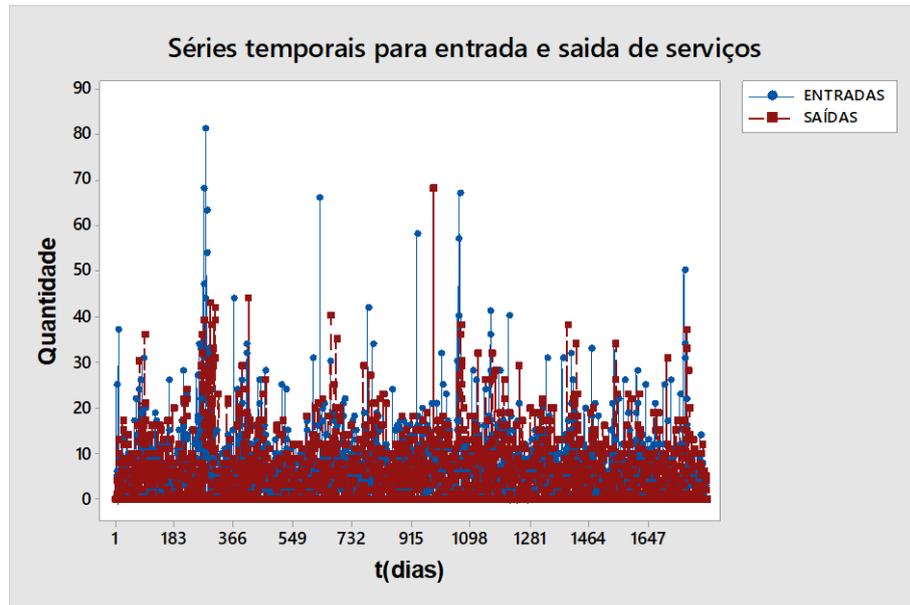
O ideal seria disponibilizar uma garantia de 100 dias a contar da recuperação e disponibilização do equipamento para operação em área industrial. Este prazo garantiria uma probabilidade de falha de 21% dos equipamentos recuperados, ou seja, haveria a probabilidade de apenas 7 válvulas retornarem por garantia a cada mês para o Centro de Manutenção Especializado.

Após observar as entradas e saídas dos equipamentos verificou-se a possibilidade, através da aplicação dos métodos DFA e DCCA, de examinar a eficiência do processo de manutenção. Percebeu-se que as Séries Temporais das entradas e saídas de equipamentos para manutenção apresentava uma similaridade, conforme Figura 4.5 que retrata as entradas e saídas diárias de equipamentos no centro de manutenção ao longo dos cinco anos de dados coletados.

As séries temporais podem demonstrar comportamentos distintos ao longo do tempo e do intervalo analisado. Estes comportamentos se tornam bem interessantes, quando demonstram um padrão bem definido.

Utilizando os dados da análise pretende-se verificar as relações de persistência das Séries Temporais. Visando identificar e mensurar a correlação de longo alcance nos dados que mostram as Séries Temporais de entrada e saída de válvulas de segurança e/ou alívio de uma empresa especializada em manutenção de válvulas industriais medimos a correlação de longo alcance através do método DFA.

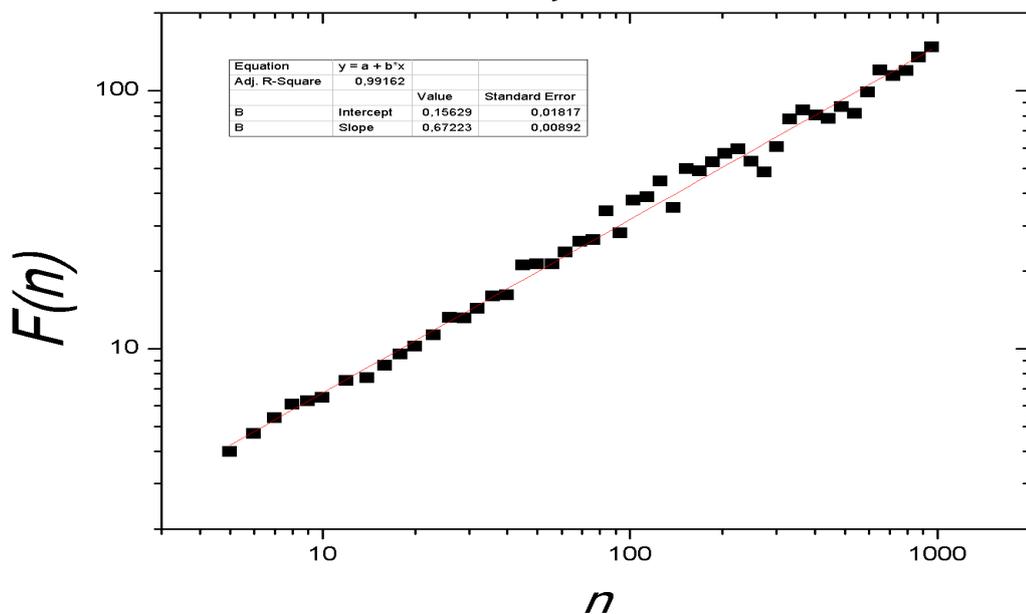
Figura 4.5 Séries Temporais das entradas e saídas de equipamentos



Fonte: Autor

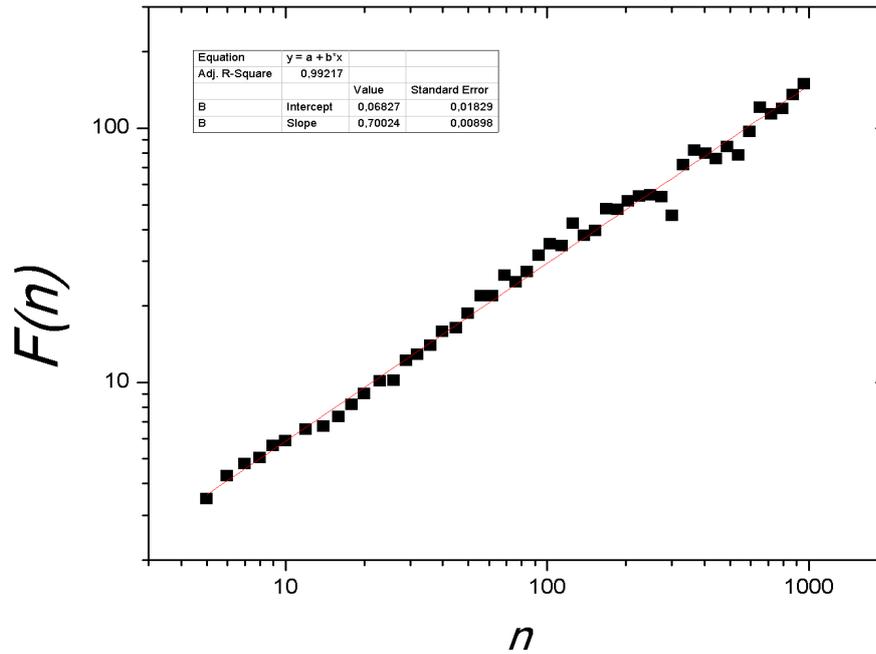
Na Figura 4.6 e Figura 4.7 são feitas análises conjuntas dos expoentes (α) de correlação de longo alcance. Nelas estão o resultado da aplicação do DFA para séries de entradas e saídas de válvulas de um centro de manutenção especializado.

Figura 4.6 Comportamento do expoente α que representa a entrada de equipamentos para manutenção



Fonte: Autor

Figura 4.7 Comportamento do expoente α que representa a saída de equipamentos pós manutenção



Fonte: Autor

Se tratando de análise de eficiência, mais especificamente utilizando o DFA a situação esperada para correlação de longo alcance é um expoente $\alpha > 0,5$ para ambas as Séries Temporais analisadas, ou seja, comportamento persistente, combinado com uma tendência de crescimento ao longo da série. Ao interpretar os resultados, apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Resultados dos Parâmetros DFA

Parâmetro	α	Erro
Coefficiente de correlação - Entradas	0,67	0,02
Coefficiente de correlação - Saídas	0,70	0,02

Fonte: Autor

Percebe-se que mesmo entrando muitos equipamentos ($\alpha = 0,67$) para manutenção a quantidade de saídas ($\alpha = 0,70$) também acompanha a tendência de crescimento o que mostra uma eficiência do processo. Ou seja, se observarmos entradas ou saídas de válvulas em janelas temporais vizinhas, podemos inferir que quando a entrada ou saída de equipamento está aumentando para uma janela temporal de tamanho Δ , estes eventos terão maior probabilidade de aumentar para janelas temporais vizinhas de $\Delta + \Delta$.

5. Conclusões e Perspectivas

Nesta dissertação tivemos diversos aspectos relativos às válvulas, de modo geral, discutidos no que tange a confiabilidade destes equipamentos.

Através da distribuição de Weibull identificou-se uma possibilidade de apenas 36,8% das válvulas não retornarem por falha em um período de um ano, contudo a distribuição estabeleceu que 63,2% das válvulas poderiam falhar neste prazo. Uma característica identificada na análise de falhas foi um comportamento característico de falhas por desgaste predominante entre as válvulas devido ao parâmetro de forma da distribuição ser maior que uma unidade.

Para a empresa, neste aspecto estudado não é viável a determinação de prazos de garantia de 180 dias, este tempo remete a possibilidade de 36% das válvulas retornarem por garantia contabilizando um total de 782 válvulas no período estudado. Fazendo simulações na função de distribuição chega-se a um valor ótimo de 100 dias de prazo de garantia, isto remete a um total de chance de retorno de apenas 7 válvulas por mês dentro do período estudado.

Pelo comportamento da Série Temporal é viável propor garantia de 3 meses e não de seis meses. No futuro é viável diminuir o prazo, pois há coerência no processo, sendo que a garantia de lucros será maior e com um prazo lógica com o

comportamento dos dados, sendo que atualmente o prazo de seis meses é definido empiricamente.

No lado da flutuação, a quantidade de itens que entra e que saem apresentam a mesma eficiência. Mesmo verificando a série temporal de entrada e saída de equipamentos e verificando em alguns momentos picos de entradas muito maiores, para aquele momento, do que saídas de equipamentos passando a impressão de que não há eficiência do processo de manutenção, mas o comportamento dos gráficos de entrada ($\alpha = 0,67$) e de saída ($\alpha = 0,70$) da flutuação, analisando pelo DFA, e isto mostra que são muito, praticamente, similares quanto a eficiência do processo.

Olhando os dados, de um modo geral, o método de manutenção garante mais saídas de equipamentos, em média, do que entradas e este fato apresenta que não há entraves no processo e conseqüentemente é eficaz. Em contrapartida, caso o processo não fosse eficiente, a correlação entre as séries não seria significativa, o que contradiz os resultados, ou seja, os dados são bem correlacionados.

Para trabalhos futuros, cabe a aplicação do método DCCA – Detrended Cross-Correlation Analysis para avaliação da correlação cruzada entre as séries de entrada para manutenção e saída após manutenção de válvulas industriais de segurança. Uma outra sugestão é avaliar um modelo simulado para a série de saída dos equipamentos comparando essa série simulada com a real, e ver o quanto eficiente o método é para avaliação de eficiência de processos produtivos.

6. Referências Bibliográficas

ABRAHAMSEN, Eirik BJORHEIM; ROED, Willy. A framework for selection of test method and test interval for safety critical valves in situations with limited data. **Reliability: Theory & Applications**, v. 7, n. 1, p. 114-125, mar. 2012. Disponível em <http://www.gnedenko-forum.org/Journal/2012/012012/RTA_1_2012-08.pdf>. Acesso em 26 jul. 2018.

BAO, Shiyi et al. **Reliability Analysis of Spring Operated Pressure Relief Valve**. In: ASME 2013 PRESSURE VESSELS AND PIPING CONFERENCE, 10., 2013, Paris. **Conference**. Paris: Asme, 2013. v. 1A, p. 1 - 8.

BERTSCHE, Bernd. **Reliability in automotive and mechanical engineering: determination of component and system reliability**. Stuttgart: Springer, 2008.

BHOWMIK, Palash Kumar. Sizing and Selection of Pressure Relief Safety. In: **6th International Mechanical Engineering Conference & 14th Annual Paper Meet**, 6., 2012, Dhaka. Conference Paper. [s. l.]: Institute Of Engineers, 2012. p. 1 - 5. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/269984515_SIZING_AND_SELECTION_OF_PRESSURE_RELIEF_SAFETY_VALVE>. Acesso em: 28 jul. 2018.

BOTELHO, Alexandre Guimarães. **Otimização da frequência de inspeções em PSV usando análise estatística de dados**. Revista Produção Online, v. 15, n. 4, p. 1224-1250, 2015.

BRASIL, NORMA REGULAMENTADORA Nº 13, de 08 de junho de 1978. **Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulação, anexo N.º 1**. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR13.pdf>>. Acesso em 25 jul. 2018.

BUSSAB, W.O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. 5. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2007.

Calegare, Álvaro José de Almeida. **Técnicas de garantia da qualidade**. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1985.

CARVALHO, Nestor Ferreira; PEREIRA, Sergio Figueiredo; DE MORAIS, Willy Ank. **Análise da falha em uma tubulação induzida pela atuação de uma válvula de segurança**. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM WEEK, 70., 2015, Rio de Janeiro, artigo. Rio de Janeiro, 2015. P. 2-10.

CASTRO, Rodrigo Souza; ERIKSSON, Karl Tomas. **Aplicação de Válvulas de Controle em Processos Industriais**. Revista Osvaldo Cruz, São Paulo, v.1, n.1, p. 1-13, 2014.

CHIEN, Chi-Hui; CHEN, Chung-Hung; CHAO, Yuh J.. A strategy for the risk-based inspection of pressure safety valves. **Reliability Engineering and System Safety**, vol.94, n.4, p.810–818, abr.2009. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.ress.2008.09.002>>. Acesso em 25 jul. 2018.

COLOSIMO, E. A.; GIOLO, S. R. **Análise de Sobrevivência Aplicada**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2006

Correa, Rodrigo Fernandes. **Otimização de periodicidade nos planos de manutenção preventiva: uma modelagem matemática**. Santa Catarina, 2015. Dissertação (Mestrado em ENGENHARIA MECÂNICA) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2015.

CROWDER, M.J.; KIMBER, A.C.; SMITH, R.L.; SWEETING, T.J. Statistical analysis of reliability data. Boca Roton: Chapman & Hall/CRC, 1991.

DALLEDONNE, Jorge. **Gestão de serviços: a chave do sucesso nos negócios**. Rio de Janeiro: Senac nacional, 2008. 152p.

DHILLON, B. S. **Reliability engineering in systems design and operation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1982.

EGITO, Robson. **Válvula de Segurança 1**. Disponível em: <<https://www.jefferson.ind.br/conteudo/downloads-links-uteis.html>>. Acesso em 01 de jul. 2018.

_____. **Válvula Esfera**. Disponível em: <<https://www.jefferson.ind.br/conteudo/downloads-links-uteis.html>>. Acesso em 01 de jul. 2018.

_____. **Válvula Globo Angular Atuada**. Disponível em: <<https://www.jefferson.ind.br/conteudo/downloads-links-uteis.html>>. Acesso em 01 de jul. 2018.

_____. **Válvula Redutora Ação Direta.** Disponível em: <https://www.jefferson.ind.br/conteudo/downloads-links-uteis.html>>. Acesso em 01 de jul. 2018.

_____. **Válvula Redutora Auto Operada.** Disponível em: <https://www.jefferson.ind.br/conteudo/downloads-links-uteis.html>>. Acesso em 01 de jul. 2018.

ESPINOSA FUENTES, Fernando Félix et al. **Metodologia para inovação da gestão de manutenção industrial.** 2006. 208 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

ESPINOSA FUENTES, Fernando Felix; DÍAS, Acires; SALINAS, Gonzalo E. **Análisis de riesgo en el proceso de innovación en la gestión del mantenimiento industrial.** *Intekhnia*, v. 7, n. 1, p. 13-25, jan./jun 2012. Disponível em < <http://revistas.usta.edu.co/index.php/intekhnia/article/view/457/745>>. Acesso em 25 jul. 2018.

FILGUEIRAS, Luísa Martins; CARNEIRO, Leonardo Motta; PIRES, Luis Fernando Gonçalves; LEVANTINE, Nelson. **Projeto de engenharia de sistema para testes dinâmicos de válvulas de alívio em dutos.** In: Rio Oil & Gas Expo and Conference, 17., 2014, Rio de Janeiro. **Anais.** Rio de Janeiro: Rio Oil & Gas Expo and Conference, 2014. p. 1-10. Disponível em <http://www.simdut.com.br/Trabalhos/IBP1268_14.pdf>. Acesso em 25 jul. 2018.

FITZGERALD, Bill. **Control Valves for the Chemical Process Industries.** New York: McGraw-Hill, 1995.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONDIM, Raquel Maria; DUARTE, Marcus Antonio Viana. Aplicação da estatística na manutenção preditiva. **FAMAT em Revista**, n. 05, p. 211-223, set 2005.

GORNIK, Stacey L.; ZATSIORSKY, Vladimir M.; LATASH, Mark L.. Manipulation of a fragile object by elderly individuals. **Experimental Brain Research**, [s.l.], v. 212, n. 4, p.505-516, 12 jun. 2011. (Springer Nature). Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1007/s00221-011-2755-3>>. Acesso em 28 jul. 2018.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MATHIAS, Artur Cardozo. **Válvulas Industriais, Segurança e Controle.** 2 ed. São Paulo: Artliber, 2014.

MILLER, C.; BREDEMYER, L. **Innovative safety valve selection techniques and data.** *Journal of Hazardous Materials*, vol. 142, n. 3, p. 685–688, abr. 2007. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.072>> . Acesso em 25 jul. 2018.

MONCALVO, Davide; FRIEDEL, L.. **Critical air/water blow-down in safety valves at low qualities.** *Journal of Hazardous Materials*, vol. 186, .n. 2–3, p. 2162–2165, fev. 2011. Disponível em < <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.056>>. Acesso em 25

jul. 2018.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**: second edition. 2^a. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

MOUBRAY, J. **Manutenção centrada em confiabilidade**. 3a. ed. aum. Lutterworth : Aladon, 2000.

NUNES, E. L. **Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): Análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**. 2001. Dissertação de mestrado - Engenharia de produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PINTO, A. K. ; XAVIER, J. de A. N. **Manutenção: função estratégica**. 2a. ed. rev. amp. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

Raposo, José Luis Oliveira. **Manutenção centrada em confiabilidade aplicada a sistemas elétricos: uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão**. / José Luis Oliveira Raposo. - Salvador, 2005.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Instrumentação**. 9 ed. Salvador: Tek T & C, 2002.
TELLES, PC da S. **Tubulações Industriais: Materiais**. Projeto, Montagem, 10^a Edição, LTC, 2001.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Válvulas de Controle e Segurança**. 5 ed. Salvador: Tek T & C, 1999.

SANTOS, Juvêncio Vieira et al. **Falhas em válvulas de segurança: levantamento estatístico durante paradas de manutenção**. In: 6^a CONFERÊNCIA SOBRE TECNOLOGIA DE EQUIPAMENTOS. Bahia. 2002.

SILVA, Osmar José Leite da. **Válvulas de Segurança do Setor Petroquímico, Protegendo vidas, Patrimônio e a Produção**. Revista Petro & Química, Editoraa VAtele; maio, 2006.

SILVA, Osmar José Leite da. **Válvulas Industriais**. 2 ed. Rio de Janeiro, Brasil: QualityMark, 2010.

Slack Nigel, Stuart Chambers, Robert Johnston, ALAN BETT. **Gerenciamento de Operações e de Processos: Princípios e Prática de Impacto estratégico**. Porto Alegre: Editora Artemed editora S.A., 2006.

TAN, Zhaoyang; LI, Jianfeng; WU, Zongzhi; ZHENG, Jianhu; HE, Weifeng. **An evaluation of maintenance strategy using risk based inspection**. Safety Science, vol. 49, n. 6, p. 852–860, jul. 2011. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.01.015>>. Acesso em 26 jul. 2018.

Ubirajara Mattos; Francisco Másculo. **Higiene e segurança do trabalho para engenharia de produção**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.

VIANA, HERBERT RICARDO GARCIA. **Fatores de sucesso para gestão da**

manutenção de ativos: um modelo para elaboração de um plano diretor de manutenção. Porto Alegre, 2013. Dissertação (Doutorado em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO), UFRGS, 2013.

YIQI, Bao. **Estimação e diagnóstico na distribuição Weibull - Binomial - Negativa em análise de sobrevivência.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MACHADO FILHO, A. **Correlação de longo alcance em Indicadores de Criminalidade de Salvador-BA: DFA e DCCA.** Dissertação de Mestrado. Senai Cimatec. Salvador, 2009.

HURST, E. **Long term storage capacity of reservoirs.** Transactions of the American Society of Civil Engineers, v. 116, p. 770-799, 1951.

MANDELBROT, B. B. **Statistical methodology for non-periodic cycles: from the covariance to R/S analysis.** Annals of Economic and Social Measurement, v. 1, p. 259-290, 1972.

PODOBNIK, B.; STANLEY, H. E. **Detrended Cross-Correlation Analysis: A New Method for Analyzing Two Nonstationary Time Series.** Phys. Rev. Let, 084102, 100 (2008).

PENG, C. K. *et. al.* **On the mosaic organization of DNA sequences.** Physical Review E, n. 49, p. 1685-1689, 1994.

MORET, Marcelo A. *et. al.* **Fluctuations Analysis of Stellar X-Ray Binary Systems.** Physical Review E, n. 68, p. 41104, 2003.

ROBINSON, P.A. **Interpretation of scaling properties of electroencephalographic fluctuations via spectral analysis and underlying physiology.** Physical Review E, United States, v. 67, p. 032902, 2003.

DA SILVA, L. R.; STOSIC, Tatijana; STOSIC, Borko. **Escalonamento, lei de potências e correlações de focos de queimadas no Brasil.** In: 8º Encontro regional de matemática aplicada e computacional, Natal, 2008.

PEDRON, I. T. **Correlação em Séries Temporais de Temperatura na Região de Cascavel – Estado do Paraná.** Acta Scientiarum. Technology, Maringá, v. 29, p. 205-208, 2007.

PERAZZO, C.A.; FERNANDEZ E.A.; WILLSHAW, Y.P. **Determinación de Correlaciones a Largo Plazo Utilizando DFA.** In: Procesamiento de señales e imágenes: Teoría y Aplicaciones, Ed.: Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, 2004.

ZEBENDE, G. F.; MACHADO FILHO, A. **Cross-correlation between time series of vehicles and passengers.** Physica A, n.3, v.88, p. 4863-4866, 2009.

PODOBNIK, B.; STANLEY, H. E. **Detrended Cross-Correlation Analysis: A New Method for Analyzing Two Nonstationary Time Series.** Phys. Rev. Let, 084102,

100 (2008).

ZHOU, Wei-Xing. **Multifractal detrended cross-correlation analysis for two non-stationary signals**. Physical Review E, n. 77, p. 066211, 2008.

SIQUEIRA JÚNIOR, E. L.; BEJAN, L. B.; STOSIC, T. **Comparando produtos agropecuários e ações no mercado brasileiro usando Detrended Fluctuation Analysis em séries históricas de preços**. In: VIII Encontro regional de matemática aplicada e computacional, Natal, 2008.

ARAÚJO, L.H.D; BEJAN, L.B; STOSIC, Tatijana. **Aplicação do método Detrended Cross-Correlation Analysis para dados do IBOVSPA**. In: 18º Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística-SINAPE, Estância de São Pedro, 2008.

URSULEAN, R; LAZAR, A.M. **Detrended Cross-Correlation Analysis of Biometric Signals used in a new Authentication Method**. In: The 13th International Conference Electronics and Electrical Engineering, Lithuania, 2009.