

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Confiabilidade em Processo de Manufatura Mecânica

Fabio Ossamu Takeda

Orientador: Prof. Gilberto F. Martha de Souza

SÃO PAULO

2005

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Confiabilidade em Processo de Manufatura Mecânica

Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Graduação em Engenharia Mecânica

Fabio Ossamu Takeda

Orientador: Prof. Gilberto F. Martha de Souza

Área de concentração:
Engenharia Mecânica

SÃO PAULO

2005

761

TT-05
T139c

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600011877

1505451

Takeda, Fabio Ossamu

**Estudo da Confiabilidade de processo de manufatura
mecânica / F.O. Takeda – São Paulo, 2005 – 10 páginas.**

**Trabalho de conclusão de curso - Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia
Mecânica**

**I. Takeda .Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Mecânica**

RESUMO

O trabalho visa empregar as técnicas de qualidade e confiabilidade num processo de manufatura mecânica. A peça fabricada é a cabeça de um britador utilizado em mineração. O enfoque é na peça a ser produzida, ou seja, na confiabilidade do produto final do processo produtivo.

As análises serão de desgaste de ferramentas e máquinas, assim como as etapas do processo. Será feita uma análise para otimização do tempo de máquina parada.

O resultado final será a análise de quão confiável é esse processo produtivo, ou seja, a determinação de quanto tempo ele é confiável.

ABSTRACT

The ambition of this report is to apply reliability and quality techniques in a manufacture process. The manufactures piece is the head of a breaker used in mining. The focus is on the manufactured piece which is the final product of the manufacturing process.

Machine and tool consuming will be in analysis as well as the steps of the process. Further analysis will be done to optimize the stopped machine time.

The final result will be the evaluation to quantify the reliability involved.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Considerações Iniciais	1
1.2.	Objetivo.....	1
2.	CONFIABILIDADE APLICADA AO PROCESSO DE MANUFATURA.....	2
2.1.	Conceitos Básicos de Confiabilidade	2
2.1.1.	Pontos Importantes	3
2.1.2.	Plotando Dados da Confiabilidade	5
2.2.	Confiabilidade de Processo de Manufatura	9
2.2.1.	Máquina	9
2.2.2.	Ferramenta.....	10
2.2.3.	Custos Envolvidos	10
2.3.	Controle da Variabilidade da Produção	12
2.4.	Especificações	13
2.5.	Definição da falha.....	15
2.6.	Confiabilidade e Qualidade.....	16
2.7.	Questão Financeira	18
2.8.	Aumentando a Confiabilidade.....	19
3.	MECANISMOS DE FALHA DE FERRAMENTAS DE USINAGEM.....	23
3.1.	Tipos de Desgaste e Seleção de Ferramentas.....	23
3.1.1.	Desgaste de Flanco	24
3.1.2.	Desgaste por Cratera(Difusão)	26
3.1.3.	Deformação Plástica(Oxidação).....	27
3.1.4.	Formação de Aresta Postiça(Adesão)	27
3.1.5.	Desgaste Por Fissuras Térmicas	28
3.1.6.	Casos Especiais	28
4.	APLICAÇÃO DA CONFIABILIDADE.....	30
4.1.	Introdução	31
4.2.	A Peça a Ser Fabricada	31
4.3.	Britador	33

4.4.Máquina	35
4.5.Ferramenta	37
4.6.Falhas Envolvidas.....	37
4.7.Coleta de Dados Iniciais e Relatório de Intervenção.....	41
4.8.Terceira Coleta de Dados.....	46
5. ANALISE E ESTUDOS DA TERCEIRA COLETA	47
6. CONCLUSÕES.....	55
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1. INTRODUÇÃO

Não se discute a necessidade dos produtos serem confiáveis. Organizações como companhias aéreas sabem muito bem disso. Uma maneira simples de ver a confiabilidade é quando um produto é testado para garantir algumas especificações e passado ao consumidor. Ele, por sua vez, sabe que haverá falha do produto em algum tempo futuro.

Essa abordagem simples vem com uma garantia, ou há alguma proteção da lei, para reposição caso haja falha num determinado período de tempo razoável. Entretanto essa visão não mensura a qualidade através do tempo. Mesmo no período de garantia, o consumidor não pode fazer nada além de trocar cada vez que haja uma falha. E se isso ocorrer com frequência o fabricante sofre altos custos e o consumidor sofre com a inconveniência.

Visando isto, este trabalho se dedica a otimizar o processo de fabricação específico de uma peça(cabeça de um Britador Cônico), para que assim possam ser reduzidos custos de sua fabricação.

1.1 Considerações Iniciais

Para esse estudo, foi estudado apenas um modelo de ferramenta(pastilhas de desgaste ou incertos) sendo que no processo de torneamento de uma peça, são utilizados diversos tipos de incertos. Para isso, foram levantados dados apenas deste modelo de pastilha, mesmo ele sendo utilizado em mais de uma peça.

1.2 Objetivo

Este trabalho visa estudar a confiabilidade no processo de manufatura mecânica de uma peça(cabeça de um britador), focando o processo de usinagem dessa peça. Desta maneira, será possível otimizar este processo, reduzindo o tempo de fabricação das mesmas, reduzindo assim os custos envolvidos.

2. CONFIABILIDADE APLICADA AO PROCESSO DE MANUFATURA MECÂNICA

2.1. Conceitos Básicos de Confiabilidade

A confiabilidade se preocupa com falhas através da vida útil de um produto. Portanto devem-se entender as causas das falhas. Uma peça sob tensão apenas terá falha se o limite de carga for superado.

A confiabilidade de um processo deve considerar erros dos operadores envolvidos também.

A confiabilidade é portanto um aspecto de incertezas. Se uma máquina irá produzir parafusos dentro de uma certa tolerância é uma questão de probabilidade. Daí pode-se concluir uma definição de confiabilidade:

A probabilidade que um item possui em realizar a função requerida sem falhas sob certas condições por um período de tempo.

Isso implica que qualquer quantificação de confiabilidade deve envolver métodos estatísticos. Quantificar a confiabilidade traz muitas incertezas. Uma fonte importante de incertezas é inserida pois a confiabilidade envolve geralmente pessoas que fabricam e que usam o produto e também dos ambientes variados em que são inseridos.

A confiabilidade é quantificada em outras maneiras também. Pode-se especificá-la como o número médio de falhas ocorridas em um certo período de tempo, ou como o tempo médio entre falhas (MTBF) para itens que sofrem reparos e voltam ao uso, ou tempo médio até a falha (MTTF) para aqueles que não sofrem reparos. [WEBER T. S.]

A preocupação se concentra nas combinações improváveis de carregamento e resistência, por exemplo.

Deve-se sempre lembrar que os dados de qualidade e confiabilidade contém inúmeras fontes de incertezas e a variabilidade não pode ser rigorosamente quantificada. Mas é preciso derivar valores para o processo de tomada de decisão, para isso a matemática é essencial.

[Connor] e [Lewis]

2.1.1. Pontos Importantes

Os conceitos de manutenibilidade e disponibilidade devem ser introduzidos pois são essenciais no estudo. A manutenibilidade é a habilidade de que um item possui de, sob certas condições de uso, se conservar ou se restabelecer no estado em que possa performar sua função. A manutenção é realizada sob certas condições e se utiliza de procedimentos e recursos estabelecidos. A disponibilidade é a habilidade que um item possui de, sob aspectos associados entre sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção; performar sua função num dado instante ou num período de tempo.

Devem-se distinguir os itens que sofrem reparos e os que não sofrem. Para cada item há uma abordagem a ser realizada. Num item que não sofre reparos, como um transistor, a probabilidade instantânea da primeira e única falha é chamada de *hazard rate*. Note que itens que não sofrem reparos podem ser partes individuais (lâmpadas, transistores) ou sistemas de muitas partes (microprocessadores).

Num sistema que sofre reparos, a disponibilidade é levada em conta, já que o reparo leva tempo. A disponibilidade é afetada pela taxa de ocorrência das falhas e pelo tempo de manutenção. A manutenção pode ser corretiva ou preventiva.

Há itens que podem ser do tipo que sofre ou do tipo que não sofre reparos. Um míssil sofre reparos, mas depois de lançado não mais. Uma placa de TV pode ser ou não de acordo com o custo envolvido no reparo.

Com o aumento progressivo dos custos e da complexibilidade dos sistemas modernos, a importância da confiabilidade como um parâmetro de eficiência, que deve ser especificado e pago, se tornou aparente. Por exemplo, uma estação de radar deve estar disponibilizada sempre que for necessário, e o custo da sua não disponibilidade é alto, principalmente se não for agendado. Um bom exemplo foi o projeto Apollo que tinha seis motores de impulsão, sendo que cinco eram suficientes, no caso de falha de algum deles. Essas considerações valem igualmente para sistemas de alta ou baixa complexidade.

Como um parâmetro de eficiência, a disponibilidade pode ser dada como:

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

onde MTTR é o tempo médio para o reparo. Essa é situação mais simples.

Mesmo para sistemas simples, a quantificação das várias contribuições para a medida da mudança de confiabilidade dada a vários fatores é um exercício impreciso.

os custos que sua falta pode causar. Na manufatura os custos são altos quando ocorrem falhas. Há muita discussão quando se tenta quantificar o nível de confiabilidade, ou mesmo colocar valores financeiros na questão.

[Connor] e [Lewis]

2.1.2. Plotando dados da confiabilidade

É frequentemente muito útil em engenharia de confiabilidade a determinação da distribuição que melhor se encaixa aos dados da falha e extrair estimações de intervalo dos parâmetros da distribuição. Métodos gráficos para estimação podem facilitar muito essa tarefa. Eles são baseados na função cumulativa de distribuição (c.d.f.). A c.d.f., $F(x)$, dá a probabilidade de um valor medido cair entre $-\infty$ e x :

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x).dx$$

A figura 1 mostra a típica forma da c.d.f. com $F(x) \rightarrow 1$ para $x \rightarrow \infty$.

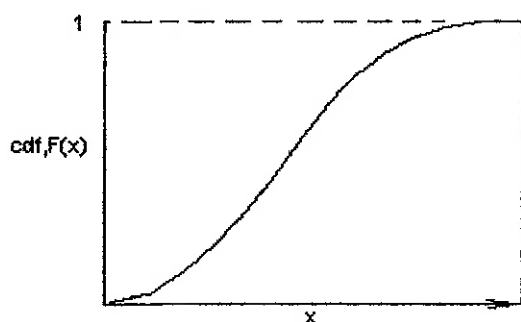


Figura 1 – Típica c.d.f.

Os eixos dos gráficos de probabilidade são transformados para que a verdadeira c.d.f. plote como uma reta. Por essa razão se os dados de plotagem podem ser definidos por uma reta, esses dados se encaixam em uma apropriada distribuição. Outras construções permitem que os parâmetros da distribuição sejam estimados. Deste modo os dados da confiabilidade podem ser calculados rapidamente, sem um detalhado conhecimento de matemática estatística. Isso facilita a análise e a apresentação dos dados.

Note que os métodos de plotagem probabilísticos para determinar parâmetros de distribuição são apenas aplicáveis quando os tempos até a falha são distribuídos de maneira

independente e idêntica. Esse é normalmente o caso de componentes e sistemas não reparáveis, mas não é o caso de sistemas reparáveis.

Gráficos de probabilidade são baseados em plotagens de variáveis de interesse contra a probabilidade de percentagem cumulativa. Os dados devem ser ordenados e a probabilidade cumulativa calculada. Por exemplo, pode-se considerar o tempo até a falha de 12 itens. Para a primeira falha a proporção acumulada é 1/12 ou 8,3%, para o segundo é 2/12 ou 16,7%, e assim por diante. Entretanto, deve-se fazer um ajuste para permitir o fato de que cada falha é um ponto na distribuição. Considerando toda a população da qual os 12 itens representam uma amostra, os tempos, cujas percentagens são 8,3, 16,7, ..., 100 terão falhado em várias amostras de 12, serão aleatoriamente distribuídos.

Para melhorar a exatidão da estimativa, são criadas as *mean ranking* e *median ranking* das percentagens acumuladas.

O método usual para a *mean ranking* é usar o denominador (n+1) ao invés de n, quando calcular a percentagem acumulada.

O uso da *mean ranking* é apropriado para distribuições simétricas, como a normal. Porém, para distribuições enviesadas a *median ranking* oferece uma melhor correção. A mais comum aproximação é a de Bénard. Nela o i-ésimo valor é dado por:

$$r_i = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

Esse é o método mais freqüentemente usado, particularmente se a distribuição é conhecida como não sendo do tipo normal. A tabela 1 mostra o exemplo.

No	Tempo até falha (h)	Percentagem acumulada (c.d.f.)	Percentagem <i>rank</i> (c.d.f.)	<i>Mean</i> Percentagem <i>rank</i> (c.d.f.)	<i>Median</i>
1	1 2.2	8.3%	7.7%	5.6%	
2	1 3.1	16.7%	15.4%	13.7%	
3	1 4.0	25.0%	23.1%	21.8%	
4	1 4.1	33.3%	30.8%	29.8%	
5	1 4.6	41.7%	38.5%	37.9%	
6	1 4.7	50.0%	46.2%	46.0%	

7	14.7	58.3%	53.8%	54.0%
8	15.1	66.7%	61.5%	62.1%
9	15.7	75.0%	69.2%	70.2%
10	15.8	83.3%	76.9%	78.2%
11	16.3	91.7%	84.6%	86.3%
12	16.9	100.0%	92.3%	94.4%

Tabela 1- Dados dos tempos até falha dos 12 itens.

Os dados são mostrados plotados em um papel para distribuição normal, que esta na figura 2. Os pontos da *mean ranking* são mostrados em círculos, os da *median ranking* em triângulos.

[Connor] e [Lewis]

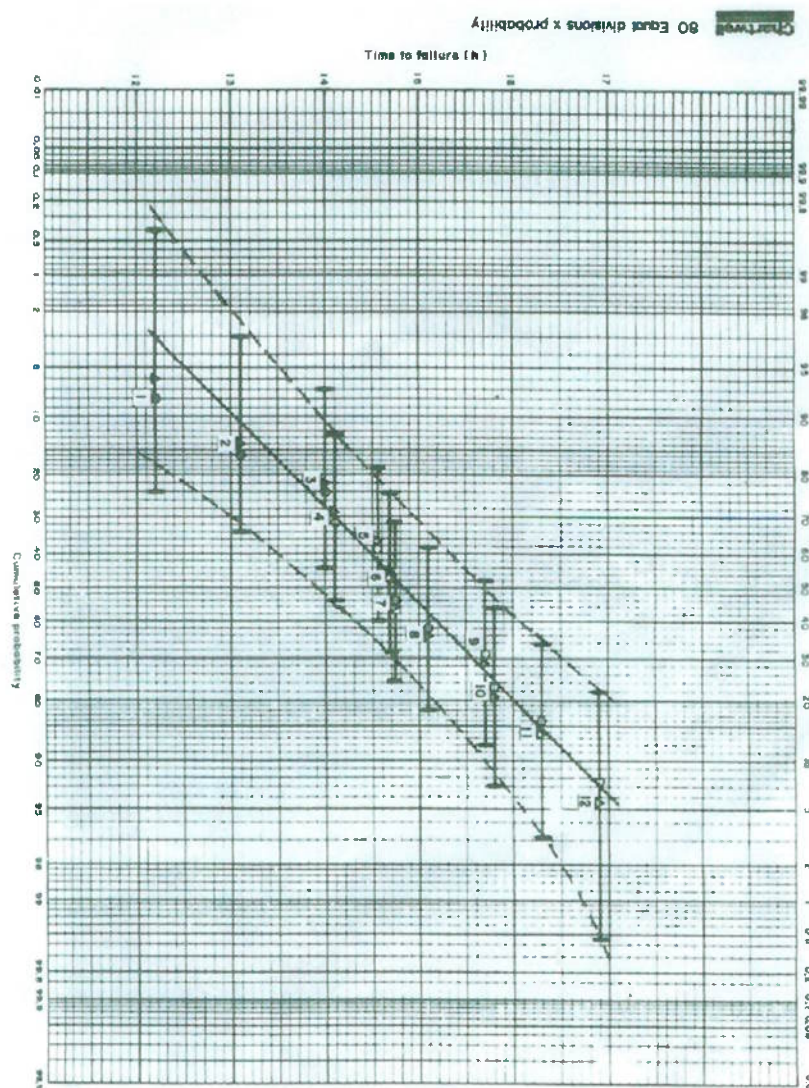


Figura 2 - Plotagem para distribuição normal em papel para distribuição normal.

Se as conclusões tiradas podem ser influenciadas por diferenças subjetivas ao desenhar a reta através dos pontos, então, ou há dados insuficientes, ou não há uma boa adaptação à distribuição assumida.

Esse foi um simples e não aprofundado exemplo de distribuição normal. O mesmo método com conclusões e análises mais profundas pode ser utilizado de acordo com as especificações do problema a ser solucionado no segundo semestre.

2.2.CONFIABILIDADE DE PROCESSO DE MANUFATURA

É de comum conhecimento que um produto bem projetado pode ter sua confiabilidade afetada por uma baixa qualidade no processo produtivo. O controle da qualidade do processo é portanto indispensável na engenharia de confiabilidade. Para situar o processo dentro das especificações e tolerâncias, deve-se controlar a variabilidade envolvida. A maior fonte provável de variabilidade são operações humanas, que geralmente são repetitivas, entediantes ou não prazerosas. A automatização dessas tarefas implica no aumento da qualidade.

A variabilidade não pode ser eliminada completamente. Um projeto confiável deve esperar uma certa variabilidade, portanto projetistas devem ter consciência da variabilidade inerente do processo de manufatura.

A integração de programas de Qualidade e Confiabilidade é indispensável para a garantia da harmonia do processo.

A confiabilidade do processo deve ser analisada sob três aspectos. As confiabilidades relacionadas à máquina, à ferramenta e ao homem.

$$R_{PROCESSO} = R_{MAQUINA} \cdot R_{HUMANA} \cdot R_{FERRAMENTA}$$

[Connor] e [Lewis]

2.2.1.Máquina

As falhas devidas a máquinas podem ter geralmente origem na performance do operador, assim como dos componentes que formam o sistema máquina. Esse sistema é formado por subsistemas, por exemplo, engrenagens, circuitos elétricos e programas de computador que comandam a máquina.

A abordagem para a determinação e aumento da confiabilidade de uma máquina está sendo discutida nessa etapa do projeto.

[Connor] e [Lewis]

2.2.2.Ferramenta

A máquina em questão trabalha com ferramenta, que eventualmente falha e precisa ser trocada, o que chamamos de manutenção corretiva. O objetivo é transformar essa manutenção corretiva em manutenção preditiva.

A manutenção preditiva visa realizar manutenção somente quando as instalações precisarem dela. Ela pode incluir a monitoração contínua das vibrações ou alguma outra característica da linha. Com base nessa monitoração pode-se decidir quando a linha deve ser parada para a troca da ferramenta.

A abordagem para a determinação e aumento da confiabilidade de uma ferramenta também está sendo discutida nessa etapa do projeto. As análises para máquina e ferramenta utilizam os mesmos princípios explorados no texto.

[Connor] e [Lewis]

2.2.3.Custos envolvidos

Os custos de qualidade são aqueles que são aplicados diretamente no controle de qualidade e nas falhas decorrentes. Eles podem ser separados em 3 grupos:

- ✓ Custos com a prevenção
- ✓ Custos com as avaliações
- ✓ Custos com as falhas

Os custos com a prevenção são aqueles relacionados com as atividades que prevêm a ocorrência de falhas. Inclui o controle de qualidade de componentes e materiais *bought-in*, treinamento e administração. Em um programa integrado (confiabilidade e qualidade)

eles também incluem os custos com atividades de confiabilidade durante o design e testes de desenvolvimento.

Os custos com avaliações são aqueles relacionados a testes e medidas, controle de processo e qualidade.

Os custos com falhas são seus próprios custos. Os custos de falha interna são aqueles referentes durante a manufatura.

Obviamente devem-se minimizar os custos de qualidade e confiabilidade durante um longo período adequadamente. Portanto os custos imediatos de prevenção e avaliação devem estar relacionados aos efeitos antecipados aos custos das falhas.

A análise de investimento em confiabilidade e qualidade é um negócio incerto. Esse fato se deve à impossibilidade de prevenção com exatidão e a quantificação dos resultados. Conseqüentemente a análise deve ser performada utilizando algumas premissas para determinar a sensibilidade do resultado aos efeitos assumidos.

Quando o controle de qualidade é integrado às atividades de produção, os custos de qualidade não serão facilmente separados dos custos da produção. Entretanto, os reais custos relacionados às atividades de qualidade devem ser identificados para tornar possível a minimização dos custos totais da qualidade.

[Connor] e [Lewis]

2.3. Controle da variabilidade da produção

A principal causa da não confiabilidade é a variabilidade inerente aos processos de produção. A princípio um projeto correto, manufaturado corretamente, não deve falhar sob uso normal. Entretanto, todos processos manuais sofrem variações.

Processos automáticos sofrem variações também, mas a variabilidade é normalmente mais fácil de ser controlada.

Componentes e materiais *bought-in* também possuem propriedades com variabilidade. A QC aplicada à produção é fundamentalmente a preocupação em mensurar e controlar essas variações com baixo custo.

Muitos métodos foram desenvolvidos para controlar a variabilidade inerente a operações humanas na manufatura. Uma abordagem psicológica, como aumentar a motivação através da melhoria da organização e treinamento, tem sido utilizada desde o início da industrialização, particularmente nos anos quarenta.

Uma maneira de monitorar e controlar a performance humana é através de inspeção independente. Contudo há três ressalvas:

- Inspetores não são perfeitos, eles podem falhar ao detectar uma falha. A performance do inspetor esta sujeita a variações como qualquer outro processo humano.
- Inspeção independente pode reduzir o nível de motivação do pessoal da produção para produzir trabalho de alta qualidade. Eles estariam preocupados com a quantidade da produção, deixando para o inspetor detectar as falhas.
- Inspeção é cara. Ela é essencialmente não produtiva. Os profissionais geralmente são mais bem pagos que o pessoal da produção. Inspeção independente pode resultar em um “inchaço” do departamento de QC.

Esses fatores levam ao controle de qualidade do operador. Sob controle do operador, o trabalhador da produção é responsável pela monitoração e controle de sua própria performance. Por exemplo, em uma operação com máquina, o operador mede o item, anota os resultados e monitora a performance em gráficos de qualidade. A inspeção se torna parte da operação aumentando a motivação do trabalhador. Obviamente eles precisam ser treinados em medição e métodos de qualidade, mas isso é usualmente usado para prevenir poucos problemas. O controle do operador se torna mais relevante com o aumento do uso de maquinário na produção que inclui componentes para medições diversas, que incluem máquinas controladas numericamente por computadores de automonitoração.

[Connor] e [Lewis]

2.4. Especificações

Projetos são usualmente baseados em especificações, o que define o problema a ser resolvido. Se ela for deficiente, é possível que os parâmetros não especificados serão desconsiderados quando concessões devem ser feitas.

Porém, é mais difícil especificar aspectos não determinísticos, como a confiabilidade. É relativamente fácil avaliar um projeto conforme aspectos determinísticos. A confiabilidade inerente de um projeto não é tão fácil como pode parecer, já que ela depende de fatores externos como ciclos de carga e o ambiente que será usado.

As características da performance determinística podem ser testadas de forma correta e avaliadas através de modelos protótipos. Confiabilidade não pode ser avaliada adequadamente através desses testes. Se um protótipo passa em testes de performance, e a confiabilidade não foi especificada, é provável que a produção estará autorizada, sem quaisquer testes de confiabilidade. Os efeitos dessa deficiência são aparentes em muitos produtos domésticos, comerciais e militares; que entram em produção com deficiências no

projeto que deviam ter sido eliminadas em uma revisão do projeto ou em um programa de testes de confiabilidade.

Para que a confiabilidade não sofra dessa maneira, deve haver especificações. Antes de mostrar como especificar adequadamente a confiabilidade, algumas considerações de como não fazê-lo.

- Não se faz exigências vagas, como “maior confiabilidade possível” ou “objetiva-se 99% de confiabilidade”. Essas declarações não garantem que a confiabilidade não seja comprometida
- Não se faz exigências não realistas. “Não haverá falhas sob as condições de operação especificadas” é uma exigência realista em muitos casos. Entretanto, uma exigência em níveis não realísticos de alta confiabilidade para, por exemplo, um complexo equipamento eletrônico não será aceito como um parâmetro de credibilidade, e está sujeito a ser ignorado.

As especificações da confiabilidade devem conter:

- Uma definição da falha relacionada à função do produto. A definição deve cobrir todos os modos de falha relevantes à função.
- Uma descrição completa dos ambientes no qual o produto pode ser estocado, transportado, operado e submetido à manutenção.
- Uma declaração das exigências de confiabilidade, e/ou uma declaração de modos de falhas e efeitos que são particularmente críticos e portanto devem ter baixa probabilidade de ocorrência. A especificação da confiabilidade deve ser um documento a parte, ou deve ser coberta em extensões de outras especificações (projeto, testes, manutenção, etc.).

[Connor] e [Lewis]

2.5. Definição de falha

Deve-se tomar muito cuidado para se definir uma falha de maneira que o critério de falha não seja ambíguo. A falha deve estar sempre relacionada a um parâmetro mensurável ou uma indicação clara. Um equipamento eletrônico pode ter modos de falha que não afetam sua função em operação normal, mas pode afetar em outras condições. Por exemplo, a falha de um diodo usado para bloquear picos de voltagem pode não ser aparente durante testes funcionais, e provavelmente não irá afetar o funcionamento normal.

Defeitos como mudanças de aparência ou pequenas degradações que não afetam o funcionamento não são geralmente relevantes para a confiabilidade. Entretanto, às vezes, uma degradação perceptível é uma indicação que alguma falha irá ocorrer.

Inevitavelmente haverá variações em avaliar a falha, particularmente quando dados não forem obtidos a partir de testes de controle. Por exemplo, dados de falha obtidos em reparos colhidos durante o período de garantia podem diferir daqueles do mesmo equipamento depois desse período, e ambos irão diferir daqueles retirados do controle de confiabilidade. O critério de falha na especificação da confiabilidade não pode eliminar essas variações, mas definições claras e não ambíguas podem reduzir substancialmente a incerteza de relacionar dados de falhas às especificações e ajudar o projetista a entender as exigências da confiabilidade.

Para a maioria das partes de uma operação, as falhas são uma função do tempo. Em diferentes etapas da vida útil de qualquer coisa, a probabilidade que falhe será diferente. A probabilidade de, por exemplo, uma lâmpada elétrica falhar é relativamente alta quando ligada pela primeira vez. Qualquer pequeno defeito no material do filamento ou na forma em que ela foi montada pode causar falha na lâmpada. Se ela durar até além dessa etapa inicial, ela ainda pode falhar a qualquer momento, mas quanto mais sobrevive, mais provável se torna sua falha. A maioria das partes físicas de uma operação comporta-se de maneira semelhante.

A curva que descreve a probabilidade de falha desse tipo é chamada de curva da banheira. A figura 3 mostra a curva que compreende três etapas diferentes:

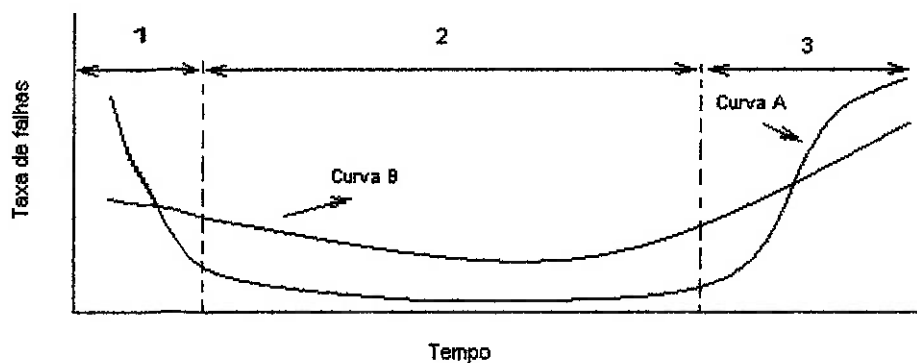


Figura 3 – Curva da banheira

- Etapa 1 – chamada de mortalidade “infantil” ou “vida inicial”, quando falhas iniciais ocorrem por causa de peças defeituosas ou uso inadequado.
- Etapa 2 – chamada de “vida normal”, quando a taxa de falhas é normalmente baixa, razoavelmente constante e causada por fatores aleatórios normais.
- Etapa 3 – chamada de etapa de “desgaste”, quando a taxa de falhas aumenta à medida que a peça se aproxima do final de sua vida útil e as falhas são causadas por envelhecimento e deterioração das peças.

A curva “A” representa uma peça com falhas relativamente previsíveis e a curva “B” representa uma peça com um padrão de falhas mais aleatório.

2.6. Confiabilidade e Qualidade

Há a necessidade de um conceito de qualidade baseado no tempo. A confiabilidade trabalha com falhas no domínio do tempo. Essa distinção marca a diferença entre um controle de qualidade e uma moderna abordagem de confiabilidade.

O controle de qualidade (QC) de um processo de manufatura obviamente fornece uma contribuição essencial para a confiabilidade do produto.

[Connor] e [Lewis]

2.7. Questão Financeira

Obviamente um programa de atividades envolvendo confiabilidade pode ser caro, particularmente se tratamos de um produto complexo ou esta envolvida nova tecnologia.

As técnicas aplicadas requerem engenheiros treinados, tempo para gerenciamento, equipamento para testes e produtos para testes. É freqüentemente difícil justificar a necessidade de gastos com uma técnica inexata como o estudo da confiabilidade.

Pode ser tentador confiar em um bom projeto e produção e dispensar o estudo específico da confiabilidade. Entretanto a experiência aponta que a confiabilidade bem gerenciada adotada tem efeito válido, ou seja, a relação custo benefício é positiva.

Há sempre limites práticos de recursos a serem destinados na confiabilidade durante o desenvolvimento do programa. Entretanto a experiência também mostra que é extremamente difícil chegar a um ponto de saturação do programa de confiabilidade.

Isso se dá ao fato de que a descoberta e correção de praticamente toda falha experimentada é positivamente recompensada, já que há altos custos das ações corretivas tomadas durante a produção. Deve-se ressaltar também que a descoberta e correção de uma fraqueza num estágio inicial pode custar muito menos que se for em um estágio de testes de produção.

Sendo assim, os esforços de confiabilidade devem se concentrar durante as análises iniciais, revisões e fases de testes.

Para qualquer produto há um ponto ótimo referente à confiabilidade e seu benefício subsequente. A Figura 4 representa essa idéia.

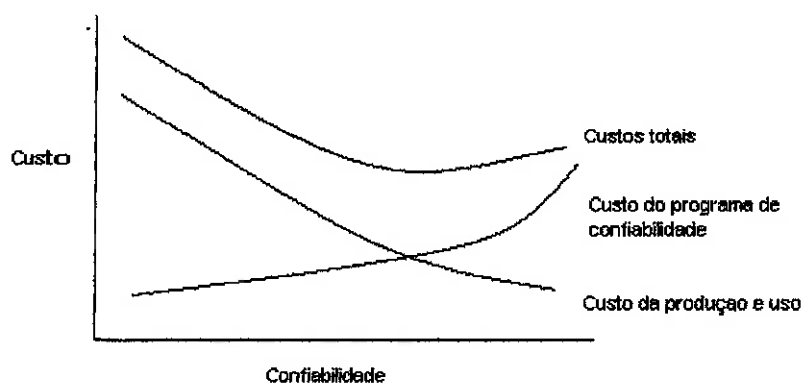


Figura 4 – Confiabilidade e Custos

O objetivo de atingir esse ponto ótimo não é tão simples assim. A questão de identificar o custo que compra um determinado nível de confiabilidade que é difícil de ser respondida, dado que há muitas variáveis dependentes de fatores de difícil quantificação.

Os custos da não confiabilidade devem ser avaliados no início da fase de desenvolvimento, para que os recursos nos programas de confiabilidade possam ser justificados e as requisições possam ser determinadas; tudo relacionado ao custo esperado.

2.8.Aumentando a Confiabilidade

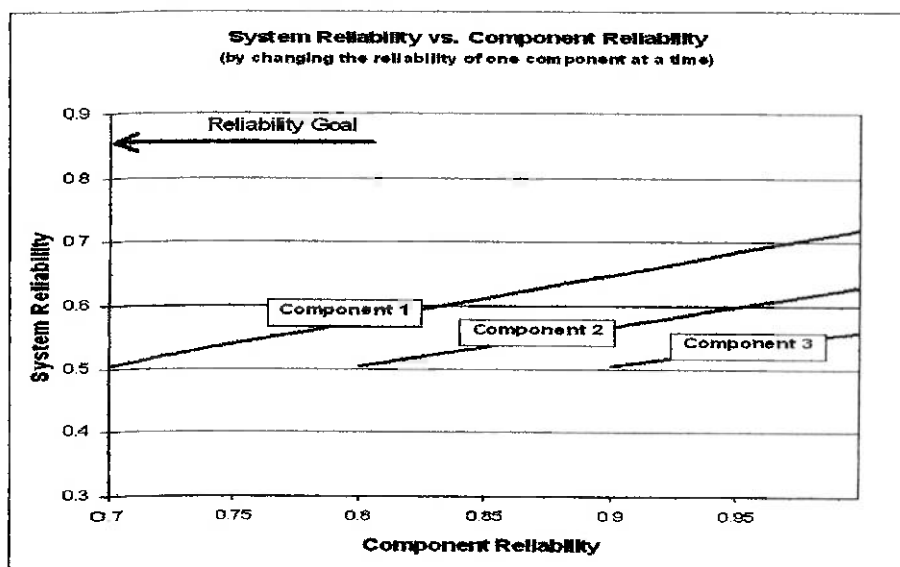
Considerando um sistema, que possui 3 componentes em série, tenha confiabilidade dada por:

$$R_1 = 70\%, R_2 = 80\% \text{ and } R_3 = 90\%$$

$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 = 50.4\%$$

Obviamente, o sistema está muito abaixo do esperado. É aparente que a confiabilidade dos componentes constituintes do sistema deve ser aumentada.

Primeiramente vamos aumentar a confiabilidade de cada componente por vez para ver se chegamos a confiabilidade requerida de $R_G = 85\%$.

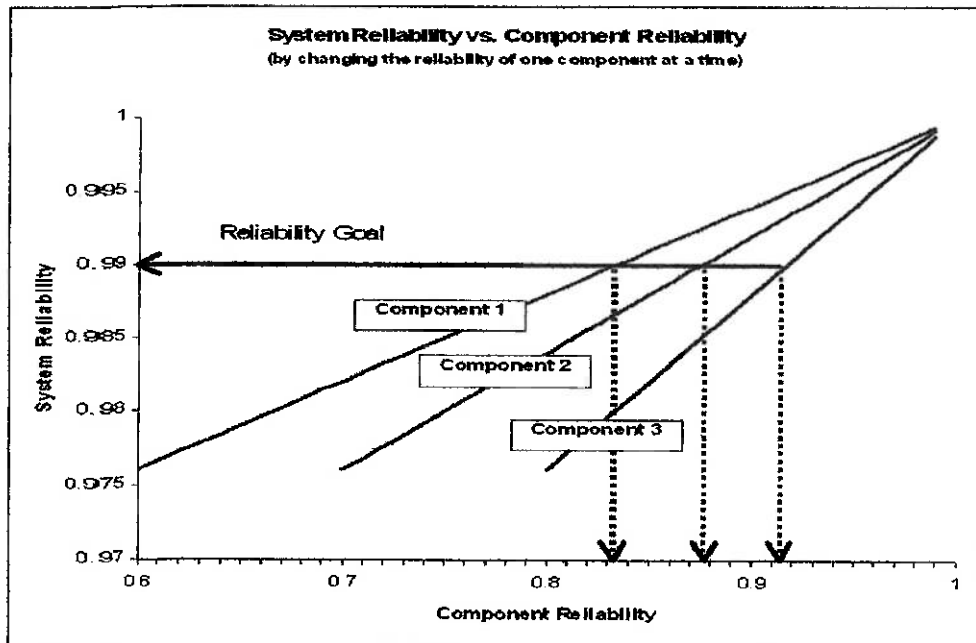


A figura mostra que aumentando apenas um componente não é possível se chegar no objetivo. O próximo passo lógico seria mudar 2 componentes. A questão é decidir quais dois componentes, talvez os três componentes. Deve-se achar uma base de decisão para evitar o processo de tentativa e erro para se chegar ao objetivo.

Agora considerando um sistema com componentes em paralelo:

$$R_1 = 60\%, R_2 = 70\% \text{ and } R_3 = 80\%$$

$$R_S = 1 - (1 - 0.6) \cdot (1 - 0.7) \cdot (1 - 0.8) = 0.976$$



A figura mostra o mesmo procedimento adotado anteriormente, aumentando a confiabilidade de apenas um componente por vez. Nesse caso o objetivo ($R_G = 99\%$) pode ser alcançado aumentando qualquer um dos componentes.

O engenheiro de confiabilidade agora encara outro dilema: qual componente deve ser melhorado?

Sabendo que o objetivo pode ser alcançado melhorando apenas um componente, ou até mesmo por mais de um, o foco se torna pra como fazer isso de maneira mais eficiente e mais barata.

Deve-se decidir o quanto de cada componente deve ser melhorado, o custo de cada um, uma combinação mais eficiente de melhora entre os componentes.

O custo não é necessariamente expressado em dinheiro, ele pode ser dado em recursos não monetários como tempo.

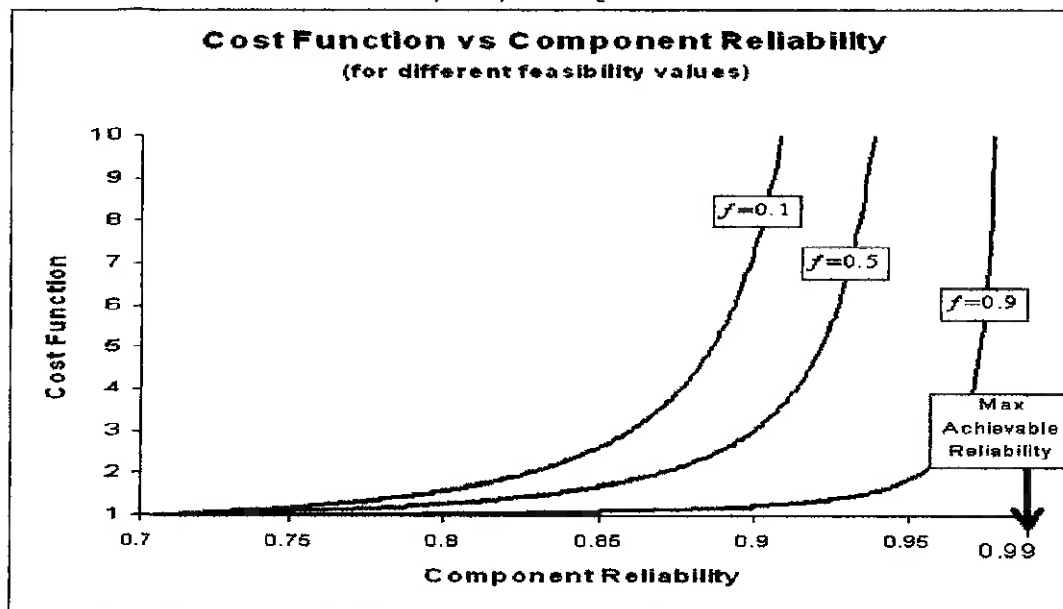
Para isso devemos conhecer a função que envolve custo e confiabilidade. Dessa maneira o engenheiro pode decidir entre quais componentes irá melhorar e como concentrar os esforços e alocar os recursos de maneira mais efetiva.

Um *software* utilizado por profissionais de confiabilidade chamado *BlockSim*, utiliza um modelo que relaciona a Confiabilidade de cada componente com seu custo:

$$C_i(R_i) = e^{(1-f) \cdot \frac{R_i - R_{min,i}}{R_{max,i} - R_i}}$$

onde,

- $C_i(R_i)$ é o custo.
- f é um índice de custo que mede a dificuldade em aumentar a confiabilidade de um componente relativamente aos outros componentes do sistema.
- $R_{min,i}$ é a confiabilidade atual.
- $R_{max,i}$ é a máxima confiabilidade que se pode atingir.



A figura mostra o comportamento para alguns valores diferentes para f .

Depois das análises realizadas, pode-se decidir o quanto investir em cada componente para se ter o resultado esperado com um menor custo.

3. MECANISMOS DE FALHA DE FERRAMENTAS DE USINAGEM

A seguir, o mecanismo de falhas de ferramentas de usinagem, mais especificamente o do processo de Torneamento, que é o objeto principal deste trabalho.

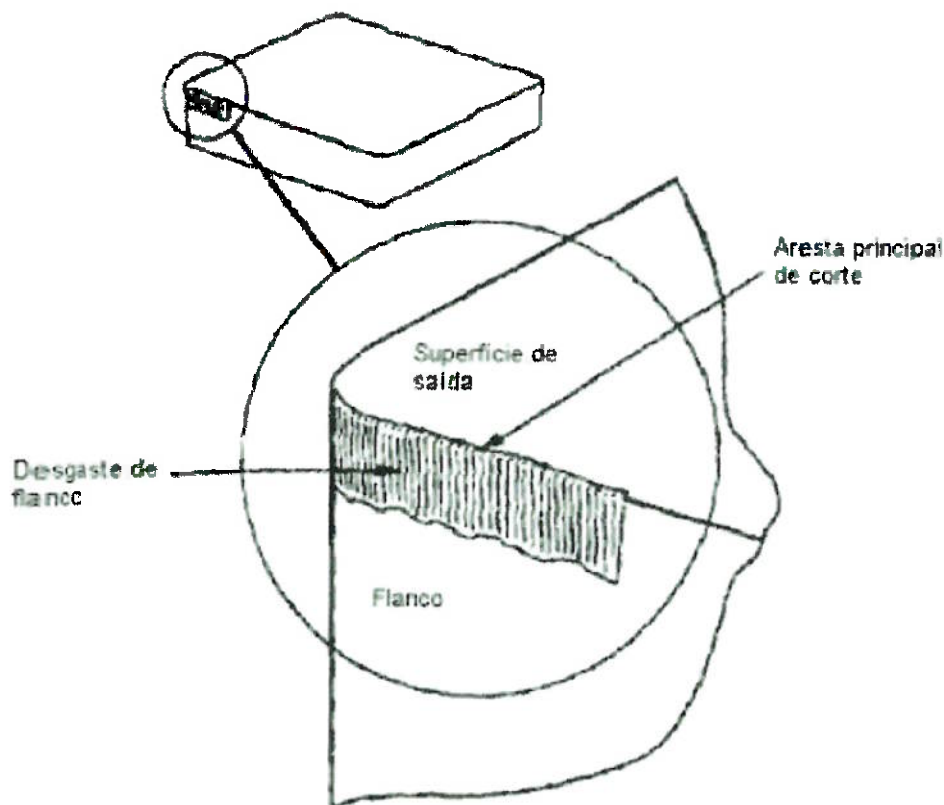
3.1. Tipos de Desgaste e Seleção de Ferramentas

Estes desgastes das arestas de corte estão associados com seu tempo de vida útil, gerando cavacos . Assegurar os cinco tipos de desgaste mais freqüentes em usinagem de metais:

3.1.1 Desgaste de Flanco

Ocorre no flanco ou na face de folga da aresta de corte, ao longo do comprimento da área de contato. Dessa forma, afeta a posição da aresta e a geometria da pastilha. Seu desenvolvimento também pode ser positivo, pois torna a aresta mais viva conforme a usinagem vai progredindo; entretanto, após certa quantidade de desgaste, a fricção crescente contra a superfície usinada deteriora o desempenho da aresta. [WEBER, T. S.]

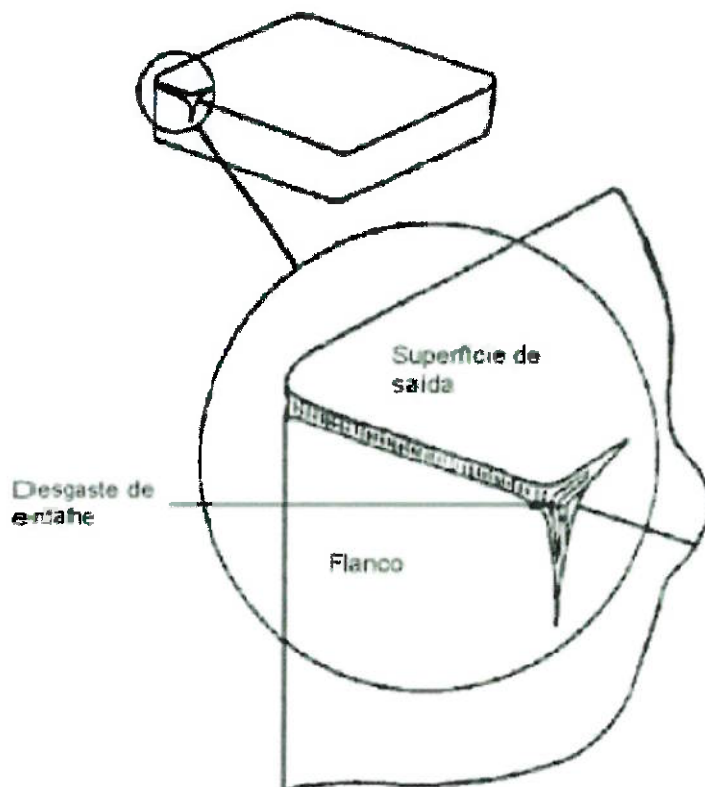
A causa principal é o mecanismo de desgaste abrasivo e o efeito aumenta com velocidades de corte mais altas.



Desgaste de Flanco [Heraldo Amorim]

Este tipo de desgaste progride até o lascamento da aresta, recomenda-se a redução da velocidade de corte e a escolha de uma classe mais resistente ao desgaste. [WEBER, T. S.]

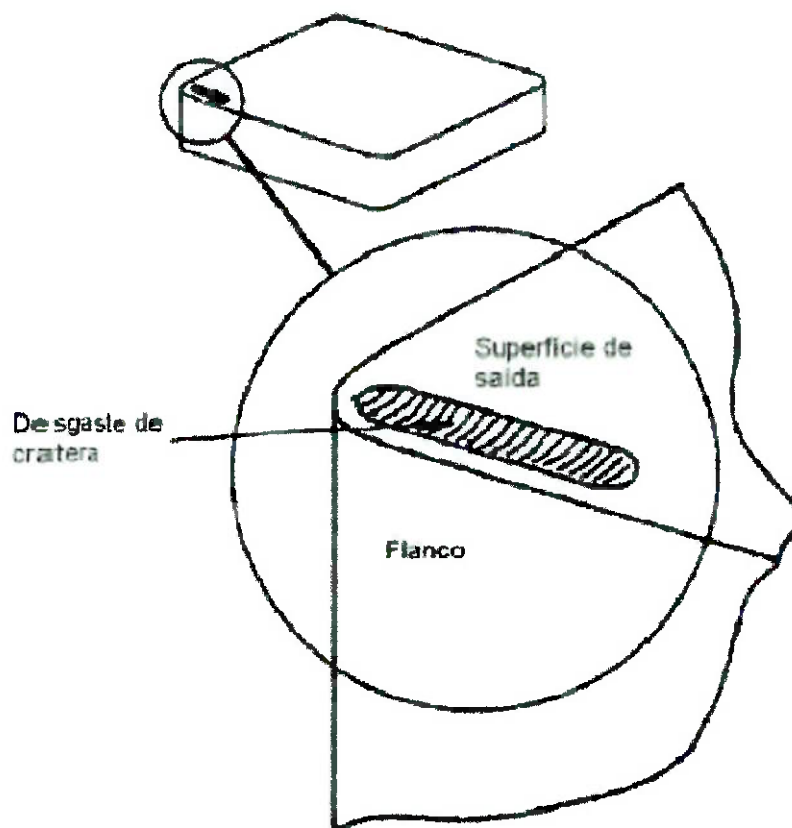
É comum o desgaste de flanco ser mais pronunciado na região onde ocorre o contato com a superfície externa da peça do que nas demais regiões, o que pode ocorrer devido a várias causas, como corte de uma camada de material endurecido pelo passe anterior da ferramenta ou ainda a oxidação devido às altas temperaturas, exposição ao ar ou ao fluido de corte. Este tipo de desgaste é chamado desgaste de entalhe. [Heraldo Amorim]



Desgaste de Entalhe [Heraldo Amorim]

3.1.2 Desgaste por Cratera(Difusão)

Ocorre na face do cavaco, onde temperaturas e pressões altas prevalecem. Mecanismos de desgaste por difusão e abrasão fazem com que o material da ferramenta seja removido e se for permitido o seu desenvolvimento excessivo, pode levar à mudança na geometria de corte, que afeta a formação de cavacos e as forças de corte, e enfraquecem a aresta. [WEBER, T. S.]



Desgaste de Cratera [Heraldo Amorim]

Este tipo de desgaste também se forma devido a altas velocidades de corte, sugere-se também a redução da velocidade de corte e a troca de classe para uma classe mais resistente ao desgaste, os avanços também poderão ser reduzidos aumentando assim a vida útil da ferramenta. [WEBER, T. S.]

3.1.3 Deformação Plástica(Oxidação)

Pode ocorrer como de uma combinação de temperaturas e pressões altas na aresta. Altos avanços de velocidades de corte altas juntamente com materiais de peça duros levam ao aquecimento e à alta compressão. Dureza quente é uma propriedade necessária para que a ferramenta possa resistir a esse efeito. Uma vez que a deformação começa a acontecer, mais deterioração ocorre como resultado de temperaturas ainda mais elevadas, levando à uma escalada de efeitos críticos entre a aresta e a peça. [WEBER, T. S.]

Para esse tipo de desgaste, a temperatura na zona de corte é muito elevada combinada com uma alta pressão, sugere-se reduzir a velocidade de corte, o avanço e ou selecionar uma classe mais resistente ao desgaste e à deformações. [WEBER, T. S.]

3.1.4 Formação de Aresta Postiça(Adesão)

Este é um tipo de desgaste relacionado basicamente à temperatura e à velocidade de corte. O material da peça tem papel importante bem como o material da ferramenta, com alguns tipos muito mais propensos a esse tipo de desgaste do que outros. Entretanto, aços baixo-carbono em geral possuem uma tendência crítica à abrasão. [WEBER, T. S.]

O acabamento superficial é o primeiro a ser afetado negativamente. Depois, ocorre uma mudança da geometria de corte e a quebra da aresta.

Este processo se dá devido a abrasão do material neste processo de desgaste, o material da peça agrega-se ao material da ferramenta consequente de baixas velocidades de corte, geometrias de corte negativa e proveniente de um material pastoso. Sugere-se aumentar a VC selecionar uma geometria de corte mais positiva, selecionar um inserto com cobertura de TiCN ou TiN, aumentando também a refrigeração na zona de corte. [WEBER, T. S.]

3.1.5 Desgaste por Fissuras Térmicas(Fadiga)

São principalmente um tipo de desgaste por fadiga devido a um efeito de calor intermitente. Com materiais de ferramenta tendo um coeficiente de expansão térmica menor, fissuras podem se formar sobre a aresta, levando ao enfraquecimento e ao risco de quebra rápida da aresta devido à falha. A aplicação de fluido de corte frequentemente é um fator negativo, permitindo-se ampliar as flutuações de temperatura durante a usinagem. [WEBER, T. S.]

No processo de corte normalmente a temperatura eleva-se ao redor de 1.000 a 1.300 °C, no trabalho de fresamento recomenda-se o não uso da refrigeração, mas no torneamento é conveniente que a refrigeração seja abundante afins de se manter estável estas temperaturas. Sugere-se quando houver desgaste, trocar o inserto por uma classe mais tenaz e resistente a choques térmicos, e por fim considerar uma possível otimização no sistema de refrigeração. [WEBER, T. S.]

3.1.6 Casos Especiais

Além destas cinco formas de desgaste, temos mais dois tipos possíveis que são:

Desgaste por Lascamento:

Quando a classe do metal duro possui uma estrutura quebradiça no trabalho de torneamento passa a alterar a uniformidade do acabamento, formação de aresta postiça devido a uma geometria de pastilha muito fraca. Ou seja existe um processo de lascamento na pastilha. Sugere-se então selecionar uma classe mais tenaz, mais robusta, aumentar a velocidade de corte, ou selecionar uma geometria mais positiva, reduzir avanços no início do corte, melhorar a estabilidade de máquina e analisar a trajetória desta ferramenta. [WEBER, T. S.]

Desgaste por Quebra:

Como o nome já diz, é o processo onde a ferramenta simplesmente quebra.

Este resulta não somente danos à aresta de corte, mas também no todo ou parciais danos nos compartimentos de alojamento do inserto causados por elevados avanços ou profundidade de corte ou até mesmo classes de pastilhas muito duras sendo estes danos repentinos e muitas vezes irrepáraveis. Sugere-se então reduzir o avanço, ou a velocidade de corte ou selecionar uma classe de metal duro mais tenaz. [WEBER, T. S.]

4.APLICAÇÃO DA CONFIABILIDADE

Tendo em vista o objetivo deste trabalho (Confiabilidade), não precisamos ir muito longe, em um estudo de viabilidade econômica, uma vez que os encargos de uma parada de máquina (não prevista) podem gerar despesas elevadas.

No nosso caso exemplo (Metso Minerals), apesar de se ter uma produção repetitiva (e não seriada), a empresa não trabalha com sistema de estoque e sim por encomenda (devido ao alto valor agregado do seu produto). Sendo assim, cada peça a ser produzida, já tem seu destino pré-determinado antes mesmo de ser produzida.

Esta produção está vinculada á venda da máquina, que por sua vez está vinculada a cláusulas contratuais. Estas cláusulas contratuais, muitas vezes se baseiam na produção do cliente e não no valor do próprio equipamento. Sendo assim, caso a empresa não entregue o produto no prazo, ela está sujeita a multas contratuais que podem ultrapassar o valor do seu próprio produto, uma vez que um britador do tipo HP custa em torno de R\$ 200.000,00 (dependendo do modelo) e a produção de uma empresa mineradora do ramo de minério de ferro (CVRD, CSN, SAMARCO, etc) geralmente gira em torno de 6000ton/h(seis mil toneladas por horas) num ciclo de 24h/dia (vinte e quatro horas por dia), 7dias/semana (sete dias por semana).

Segundo os engenheiros da empresa, além de se trabalhar com um prazo de entrega de segurança (planejar a fabricação um pouco antes do prazo de entrega), muitas vezes é possível utilizar peças de uma máquina semelhante que esteja em produção e realocá-la em outra máquina; mas isso nem sempre é possível, pois, existem algumas linhas de produto que não são vendidas com tanta frequência.

4.1.Introdução

Tendo em vista os conceitos estudados, e conforme a proposição descrita no cronograma, fizemos alguns estudos preliminares, para determinar os modos de falhas mais críticas do processo de fabricação, falhas da máquina e falhas da ferramenta, para assim ter uma visão mais ampla de todas as prováveis falhas e suas conseqüências tanto em termos de produção (próprios equipamentos) como em termos de prejuízo causado por esse tempo de máquina parada.

Também foram coletadas algumas fotos de campo, tanto da máquina (Torno Vertical Doerries) como da ferramenta (incertos da SECO).

A empresa (Metso Minerals) também nos forneceu os relatórios de manutenção corretiva da máquina e desenhos da empresa responsável pela manutenção destas máquinas.

4.2.A Peça a Ser Fabricada

Como já descrito anteriormente, o estudo em questão, é o estudo de confiabilidade da máquina e ferramenta, ambos utilizados na fabricação da “Cabeça do Britador” (peça a ser fabricada).

Esta peça é produzida nas seguintes etapas:

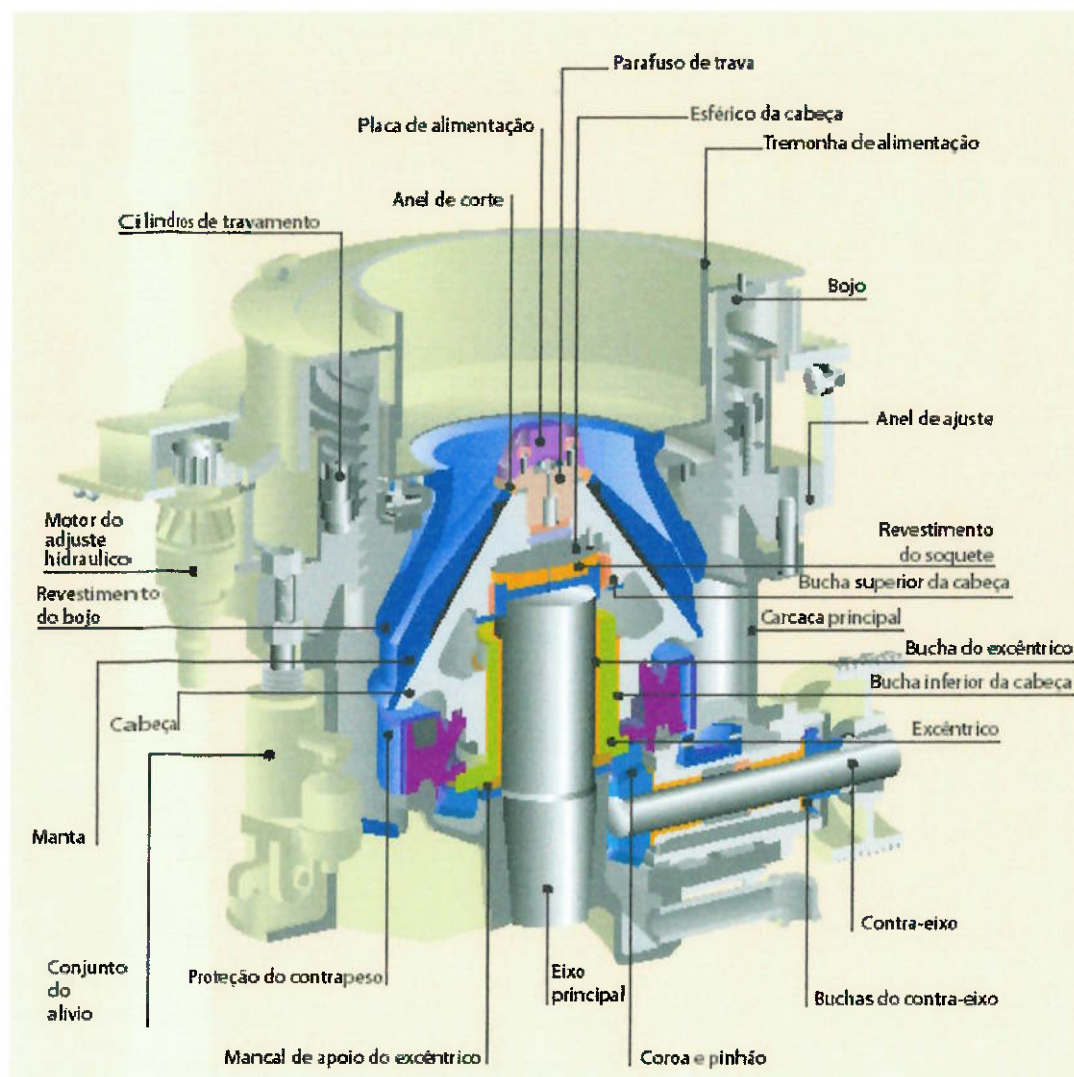
Inicialmente, ela é fundida no processo de fundição por molde de areia e em seguida passa por tratamentos térmicos (Têmpera). Após esta etapa, a peça passa por testes como o ensaio do líquido penetrante e por ultra-som, sendo este apenas nas partes mais críticas da peça. Caso encontre-se alguma falha na peça (em geral, trincas), é feita uma rápida análise se a peça pode ser restaurada. No caso de pequenas trincas, estas trincas são alargadas, a fim de se eliminar as pontas das trincas (deixando essa parte circular) fazendo com que essas trincas não se propaguem mais; então, preenche-se esse espaço com uma solda especial (sempre deixando sobremetal).

Após passar por todas essas etapas, a peça é levada para a medição e em seguida ao processo de usinagem (alvo do nosso estudo). No processo de usinagem, ela é posicionada no torno (no caso o torno Doerries) através de pontes rolantes, devido ao

4.3.Britador

Trata-se de um britador cônico do tipo HP (pertencente à linha de produtos da Metso), cujo princípio de funcionamento é simples.

Este britador é geralmente usado na britagem secundária ou terciária de uma instalação. Assim que uma mina é dinamitada, as rochas de até aproximadamente $\phi=1\text{m}$ (um metro de diâmetro) são britadas em um britador primário (geralmente Britador de Mandíbulas) e selecionadas através de peneira vibratória até a granulometria desejada para a britagem secundária, alvo da nossa máquina. Então, as rochas de granulometria máxima de aproximadamente 200mm são selecionadas, caindo dentro da Tremonha de alimentação da máquina (ver na figura abaixo), até atingir o bocal de alimentação que se localiza entre o revestimento do bojo e a manta de revestimento (partes em azul na figura). [METSO MINERALS]

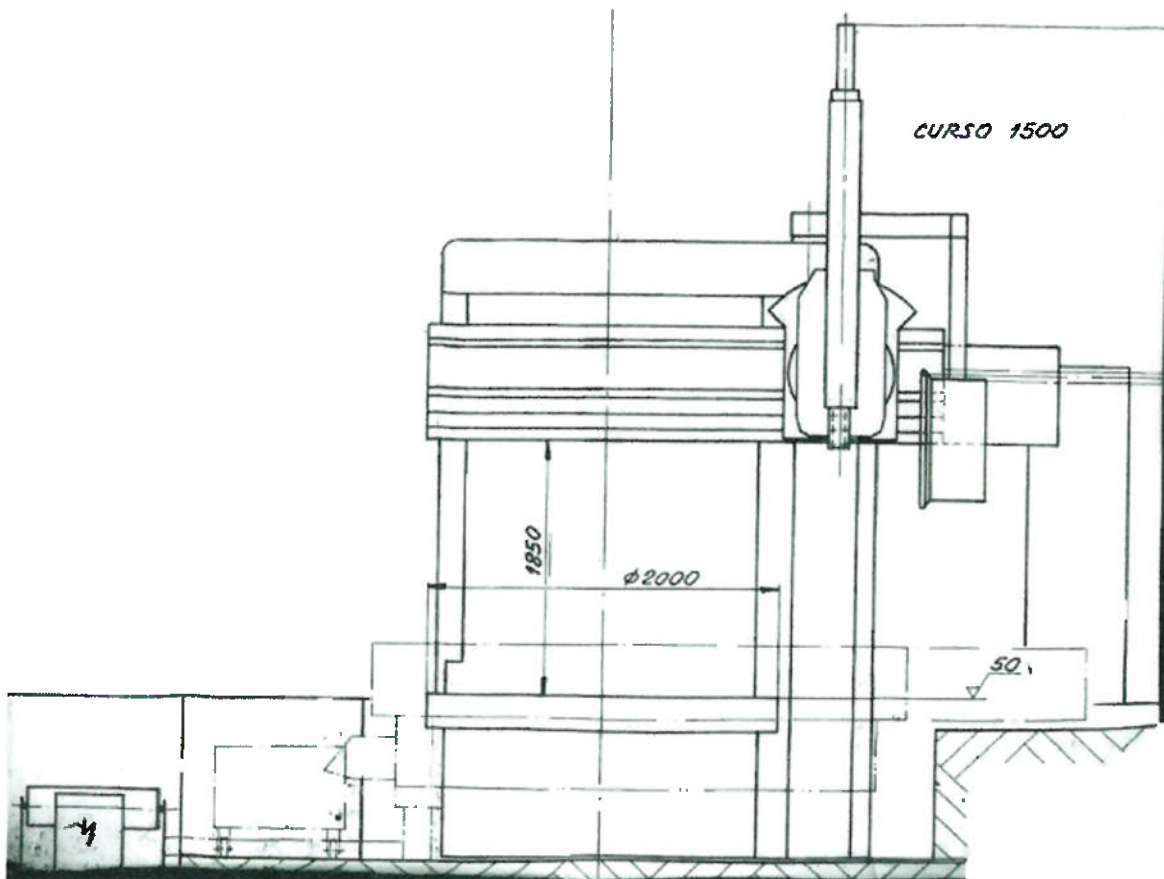


Como estas duas peças são cônicas, sendo que a manta possui um ângulo maior, o caminho percorrido pelas rochas, vai se estreitando. O britador possui um eixo excêntrico que movimenta a “cabeça do britador” (foco do nosso estudo), o qual possui um movimento rotativo e ao mesmo tempo um movimento de translação que faz com que a abertura entre a manta e o revestimento do bojo fique aumentando e diminuindo em cada lado de sua seção circular, moendo assim as rochas entre essas duas peças, até atingirem a granulometria desejada. [METSO MINERALS]

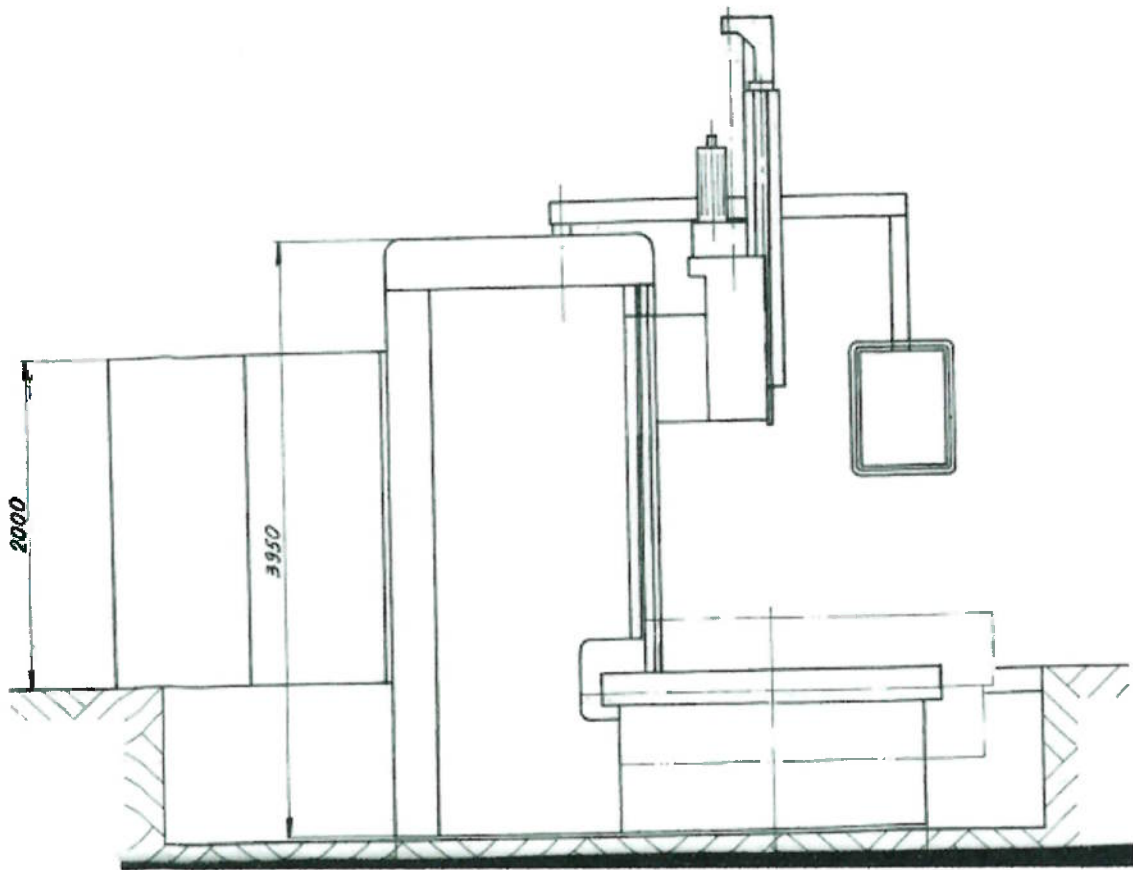
Como podemos observar no tópico anterior, a cabeça do britador possui vários encaixes, daí a importância de sua precisão (o que justifica a preocupação com os seus processos de fabricação).

4.4.Máquina

A Máquina objeto de estudo, é um TORNO VERTICAL DOERRIES SDE 200; mostrado e descrito nas figuras abaixo, e nos desenhos anexos.



Vista frontal do Doerries



Vista Lateral do Doerries

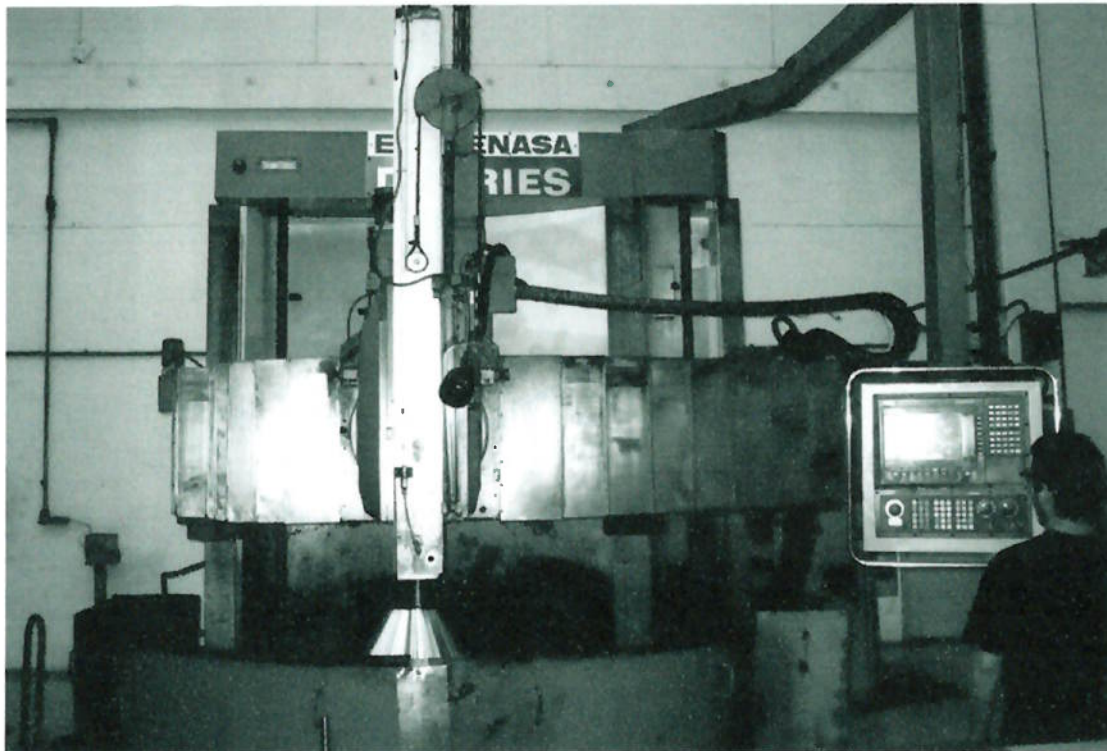


Foto do Doerries

4.5.Ferramenta

A ferramenta objeto de estudo na realidade não é apenas uma e sim alguns modelos de incertos fornecidos pela empresa SECO. A SECO possui um estoque de incertos (ferramenta) em consignação com a Metso Minerals, que é abastecido três vezes por semana por um técnico da SECO.



4.6.Falhas envolvidas

As Falhas da máquina:

Segundo entrevistas realizadas com operadores da Máquina e os Técnicos da Manutenção, a falha mais comum na máquina, se dá no sistema de movimentação vertical da ferramenta, uma vez que este é feito pela movimentação de toda uma máquina (Torpedo), sobre uma porca que sustenta toda essa estrutura, em um fuso vertical.[METSO MINERALS]

Sendo assim, uma das falhas a serem analisadas será essa.

Sendo assim, na segunda etapa do trabalho, será feito um estudo mais detalhado das cargas envolvidas, tempos entre falhas, tipos de falhas, etc. Para assim podermos fazer o estudo de confiabilidade do processo.

As falhas da ferramenta:

As falhas do incerto (ferramenta) são sempre de dois tipos, ou pelo desgaste (que é o planejado) ou pela quebra (indesejável). Tanto em uma como na outra, é necessário substituir o Incerto (pelo menos a aresta de corte, pois, no caso de o incerto não quebrar, ele possui o outro lado para ser usado).

Segue abaixo uma foto de incertos gastos e quebrados. Note na primeira foto os desgastes de Flanco, cratera e entalhe que são visíveis.



Peças(Ferramentas)
Simplesmente Gastas

Peças(Ferramentas)
Quebradas



Incertos Gastos ou Quebrados

4.7. Coleta de Dados Iniciais e Relatórios de Intervenção

Antecipando ao cronograma, foram tomados alguns dados experimentais durante toda uma semana, a fim de podermos ter uma idéia das ferramentas utilizadas, das peças fabricadas e a frequência com que isso é feita.

TORNO VERTICAL CNC DORRIES

DATA	QTDE	NOME DA PEÇA	DESENHO	CÓD. DO INSERTO	QTDE ARESTA
06/06/05	1 PEÇA	CABEÇA - HP800	80.113.854.000	LCMF160608-0600	2
"				DNMG150608-M5	1
"	1 PEÇA	CABEÇA - HP100	80.101.763.000	RPHT1204M0T-M008	1
"				RPHT120412-R4	2
"				CNMM190616-R4	1
"				TCMT16T308	1
06/07/05	1 PEÇA	CABEÇA - HP400	80.101.765.000	CNMG190616-M5	1
"				CNMM190616-R4	2
"				CNMM190624-R7	2
"				CNMA190616-M5	1
"				WNMG080408-M5	2
"				DNMG150608-M5	1
"				CNMM190616-R4	3
"	1 PEÇA	CABEÇA - HP300	10.180.022.000	CNMM190616-R4	2
"				CNMM190616-R4	2
"				RPHT1204M0T-M008	2
"				TNMG220412-M5	1
"				TCMT16T308	2
06/08/05	1 PEÇA	CABEÇA - OMN937	80.202.166.000	TNMG220412-M5	1
"				CNMG190616-R4	2
"				RPHT1204M0T-M8	1
"	1 PEÇA	CABEÇA - HP500	10.180.369.000	CNMA190616-M5	1
"				TNMG220412-M5	2
"				TCMT16T308-F2	1
"				CNMG190616-R4	2
06/09/05	1 PEÇA	CABEÇA - HP400	80.101.765.000	CNMG190616-M5	2
"				CNMM190616-R4	1
"				CNMM190624-R7	2
"				CNMA190616-M5	2
"				WNMG080408-M5	1
"				DNMG150608-M5	2
"	1 PEÇA	CABEÇA - HP400	80.101.765.000	CNMG190616-M5	2
"				CNMM190616-R4	2
"				CNMM190624-R7	1
"				CNMA190616-M5	2
"				WNMG080408-M5	1
"				DNMG150608-M5	2
06/10/05	1 PEÇA	CABEÇA - HP500	10.180.369.000	CNMA190616-M5	1
"				TNMG220412-M5	2
"				TCMT16T308-F2	1
"				CNMG190616-R4	2
"	1 PEÇA	CABEÇA - HP400	80.101.765.000	RPHT1204M0T-M8	1
"				CNMM190616-R4	2
"				TCMT16T308-F2	2
"				CNMA190616-M5	1
"				TNMG220412-M5	2

Note que na tabela anterior, não foram tomadas nenhuma medida de tempo (medidas extremamente importantes na segunda etapa do trabalho), e sim os tipos de peças fabricados (Cabeça de HP 100, HP 400, etc) e as ferramentas utilizadas (TNMG220412-M5, LCMF 160608-0600, etc). [METSO MINERALS]

Observa-se também que para uma mesma peça fabricada, foi utilizado mais de um modelo de ferramenta; isto se dá pelo fato de sua usinagem não ser feita apenas em uma etapa, ou seja, embora sejam feitas em um mesmo torno (Doerries), são utilizadas diversas ferramentas devido à geometria (ângulo) de cada face a ser usinada, à velocidade de corte, ao acabamento desejado e às suas propriedades mecânicas, uma vez que a peça passa por tratamentos térmicos, podendo assim ter durezas diferentes em suas partes.

Já na fase seguinte do projeto, deverão ser levantados dados mais precisos e em maior número. Levantaremos o tempo médio de duração de cada tipo de Incerto (ferramenta) para cada tipo de operação, aplicando os conhecimentos adquiridos de qualidade e confiabilidade nestes processos (análise de dados, gráficos, etc).

Relatório de Intervenção:

A empresa nos forneceu os últimos relatórios de Manutenção Corretiva, o que nos é de extrema importância para o levantamento das peças da máquina que sofreram manutenção nesse período.

Podemos observar que além das peças mencionadas pelos técnicos de manutenção como sendo as peças críticas (Fuso e Porca do sistema de Translação Vertical), existem outras peças que também falharam, sem nenhuma previsão por parte dos técnicos, o que causou uma parada de funcionamento da máquina para sua manutenção corretiva, atrasando assim toda a programação de produção. Fato este que queremos evitar a todo custo.

4.8. Terceira Coleta de Dados

Foram feitas várias coletas de dados de várias maneiras, e após os estudos, observamos a grande variação de tempos de vida das ferramentas. Então, na etapa seguinte, tomamos por base apenas um único modelo de pastilha(ferramenta). Sendo assim, tomamos o seguinte procedimento. Durante um certo período de tempo, foram registrados o tempo de vida de todos os incertos do tipo CNMM 190616-R4 TP3000/CNMM 644-R4 TP3000 que foram utilizados na usinagem da peça já mencionada anteriormente(cabeça do britador HP).

Este procedimento se deu da seguinte forma, o operador da máquina cronometrava o tempo de cada operação feita com a mesma pastilha e o anotava em uma tabela; cada vez que o incerto era utilizado, este operador acrescentava esse tempo. E isso se repetia até a ferramenta falhar(tanto pelo seu desgaste como por uma quebra).

Desta maneira, obteve-se os dados contínuos na seguinte Tabela:

Tempo de vida do Incerto CNMM 190616-R4 TP3000/CNMM 644-R4 TP3000								
Item Nº	Tempo (min)	Obs:	Item Nº	Tempo (min)	Obs:	Item Nº	Tempo (min)	Obs:
1	32		21	42		41		
2	33		22	35		42		
3	32		23	36		43		
4	34		24	34		44		
5	38		25	36		45		
6	37		26	36		46		
7	39		27	33		47		
8	38		28	32		48		
9	28		29	15	Quebra	49		
10	31		30	34		50		
11	34		31	33		51		
12	33		32	35		52		
13	33		33	34		53		
14	36		34	36		54		
15	35		35	34		55		
16	37		36	34		56		
17	36		37	36		57		
18	34		38	33		58		
19	35		39			59		
20	37		40			60		

5. ANÁLISE E ESTUDO DA TERCEIRA COLETA.

Nesta etapa final do trabalho, decidiu-se fazer um estudo mais apurado dos dados levantados, utilizando-se de ferramentas mais precisas.

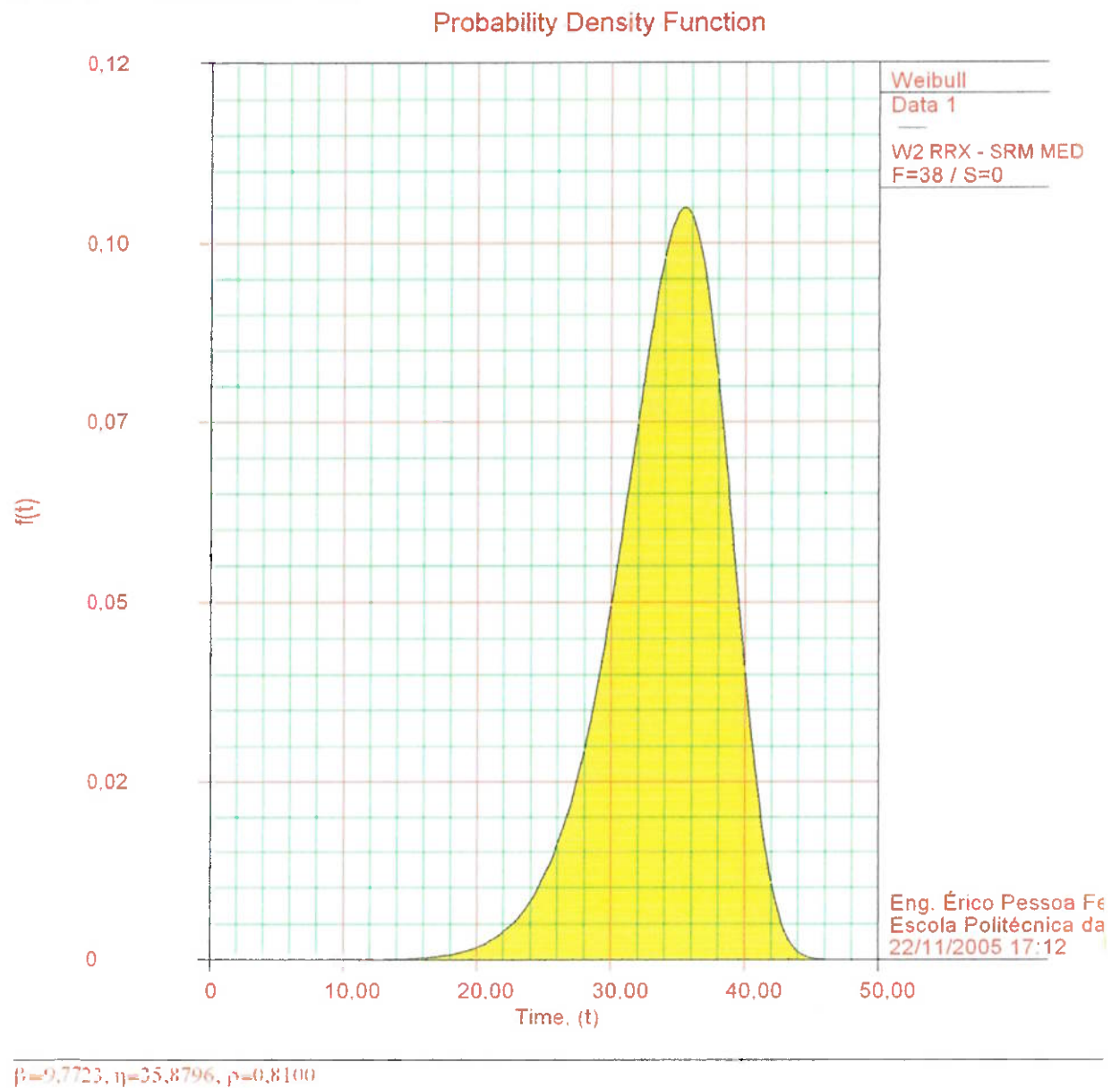
Para o estudo dos dados apresentados, foi utilizado o software Weibull++ que é padrão na análise de dados de vida em milhares de empresas em todo o mundo.

Aspirando a obtenção de dados mais coerentes, a simulação dos dados no software foi realizada por alguns engenheiros que desenvolvem trabalhos com estes tipos de softwares como por exemplo o engenheiro Érico Pessoa Félix que possui uma certa experiência com esta ferramenta. Sendo assim, temos uma maior confiabilidade nos dados apresentados.

“O software Weibull++ é intuitivo e produz excelentes resultados, fácil de se calcular e de fácil interpretação gráfica.”, disse Jeffrey H. Wood da Consolidated Metco[Reliasoft].

Inicialmente foram feitas duas análises dos dados, a primeira utilizando o Software Weibull++ com a aproximação Weibull 2 Parâmetros. Os resultados seguem no gráfico abaixo:

ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com

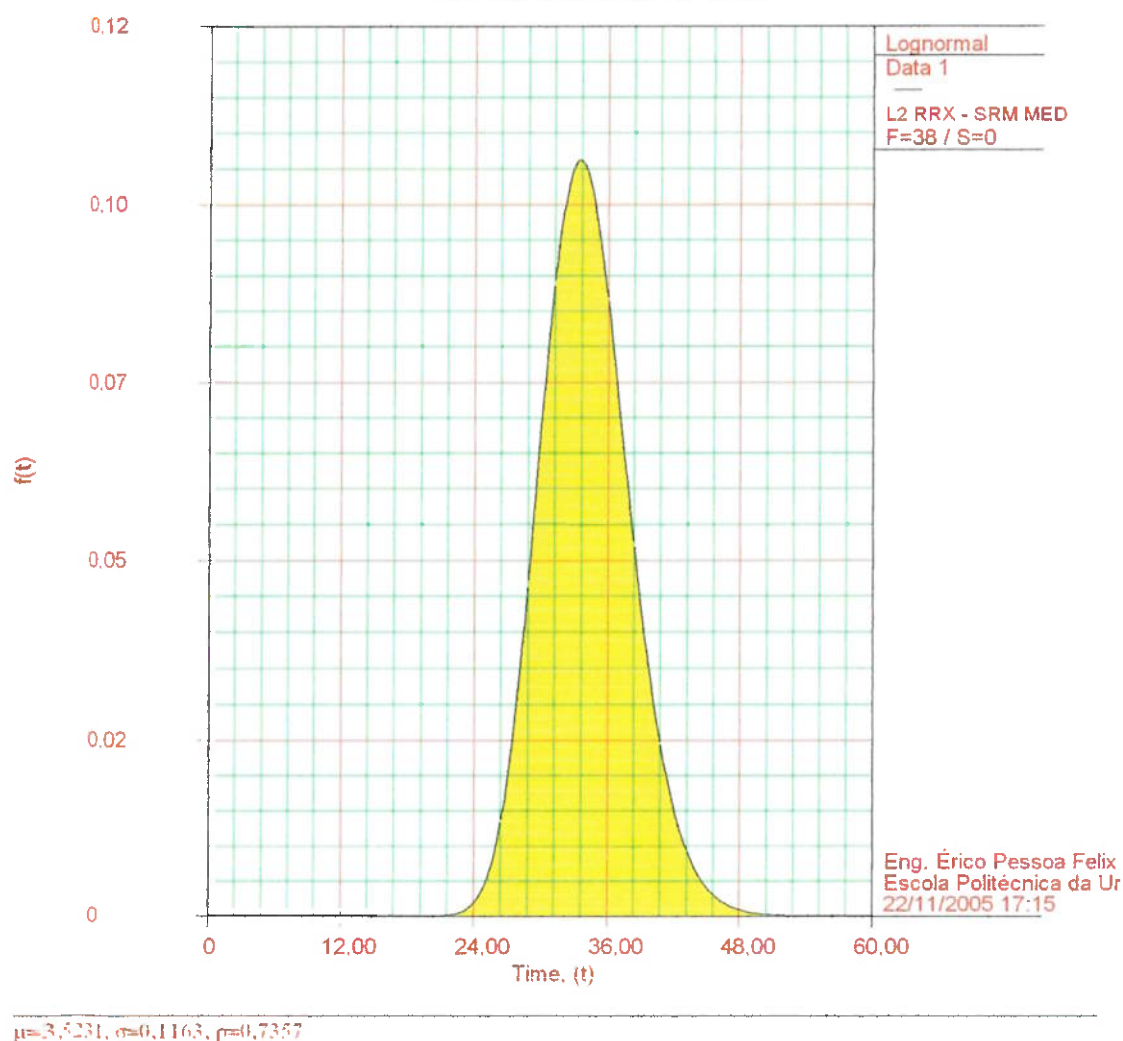


Note que neste caso, foram considerados todos os valores da tabela(inclusive o item que falhou por quebra) sendo assim, este dado pode ter contaminado os demais dados, o que explicaria o elevado valor do parâmetro beta.

A segunda simulação foi feita com a aproximação lognormal, o que resultou no gráfico abaixo:

ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com

Probability Density Function



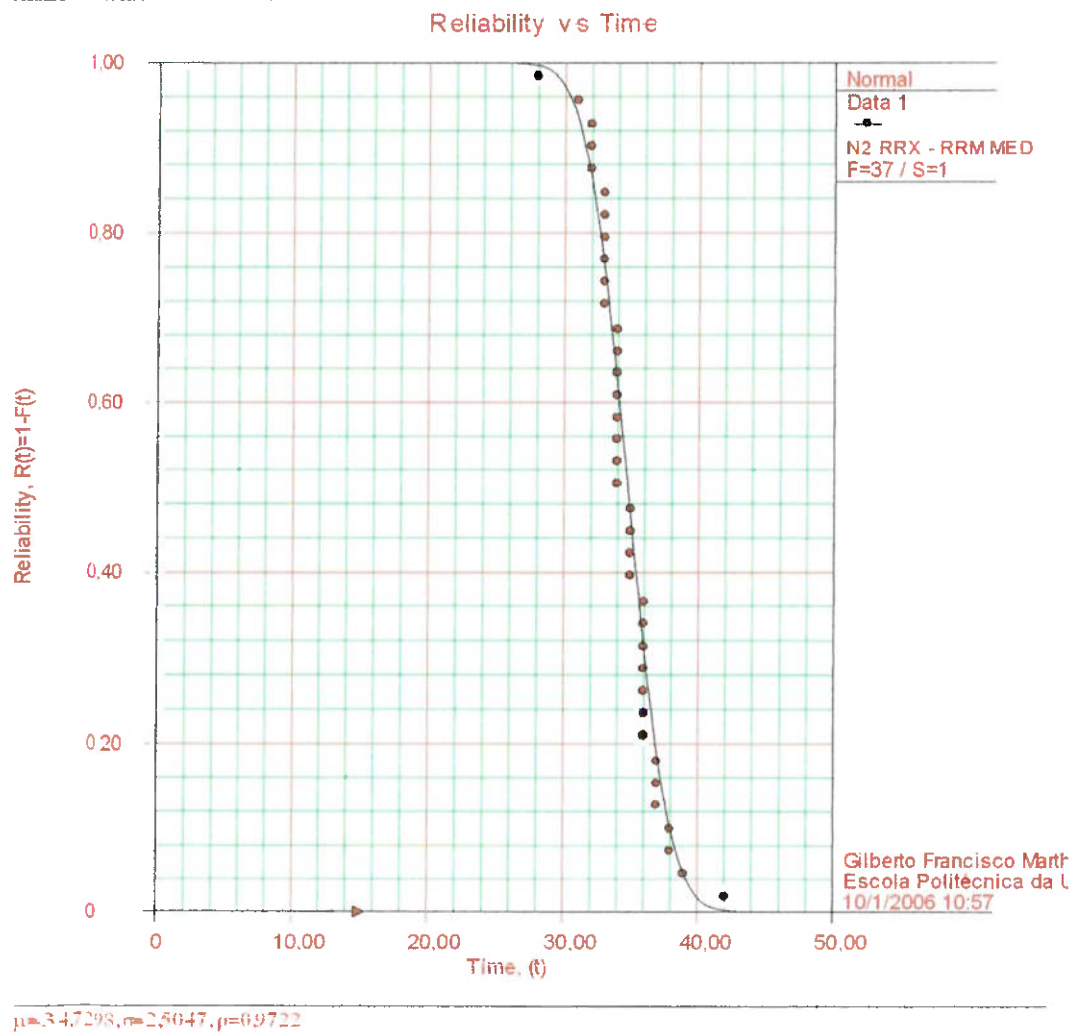
Neste caso também foi feito o cálculo incluindo o item que falhou por quebra, podendo assim, ter as distorções apresentadas na simulação anterior.

Na entrada de dados do programa, o usuário pode distinguir as falhas esperadas (no caso as geradas pela vida de ferramenta) das indesejadas quebras de ferramentas, para que estas não distorçam os resultados apresentados.

Após um estudo destes gráficos, percebe-se que o item que quebrou deveria ser tratado separadamente. Assim sendo, foi feita mais uma bateria de estudos mais aprofundados com os mesmo dados.

Inicialmente fora simulada a distribuição com a forma Normal que gerou os seguintes resultados:

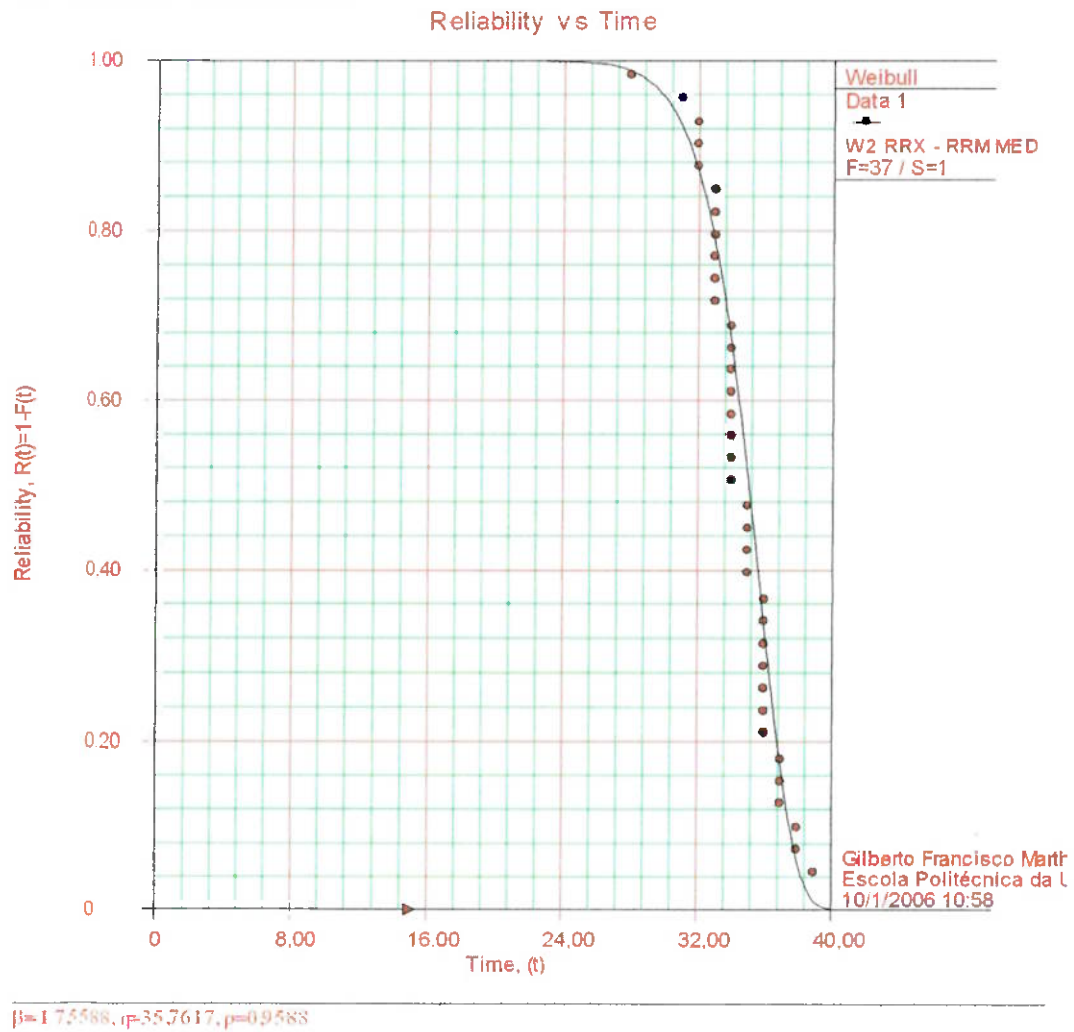
ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com



Da análise dos resultados, pode se observar que o coeficiente de correlação ($\rho = 0,9722$) é levado (próximo de um) o que nos diz que esta já é uma boa aproximação.

Também foi feito um estudo com a distribuição Weibull 2 parâmetros, o que nos forneceu os seguintes resultados:

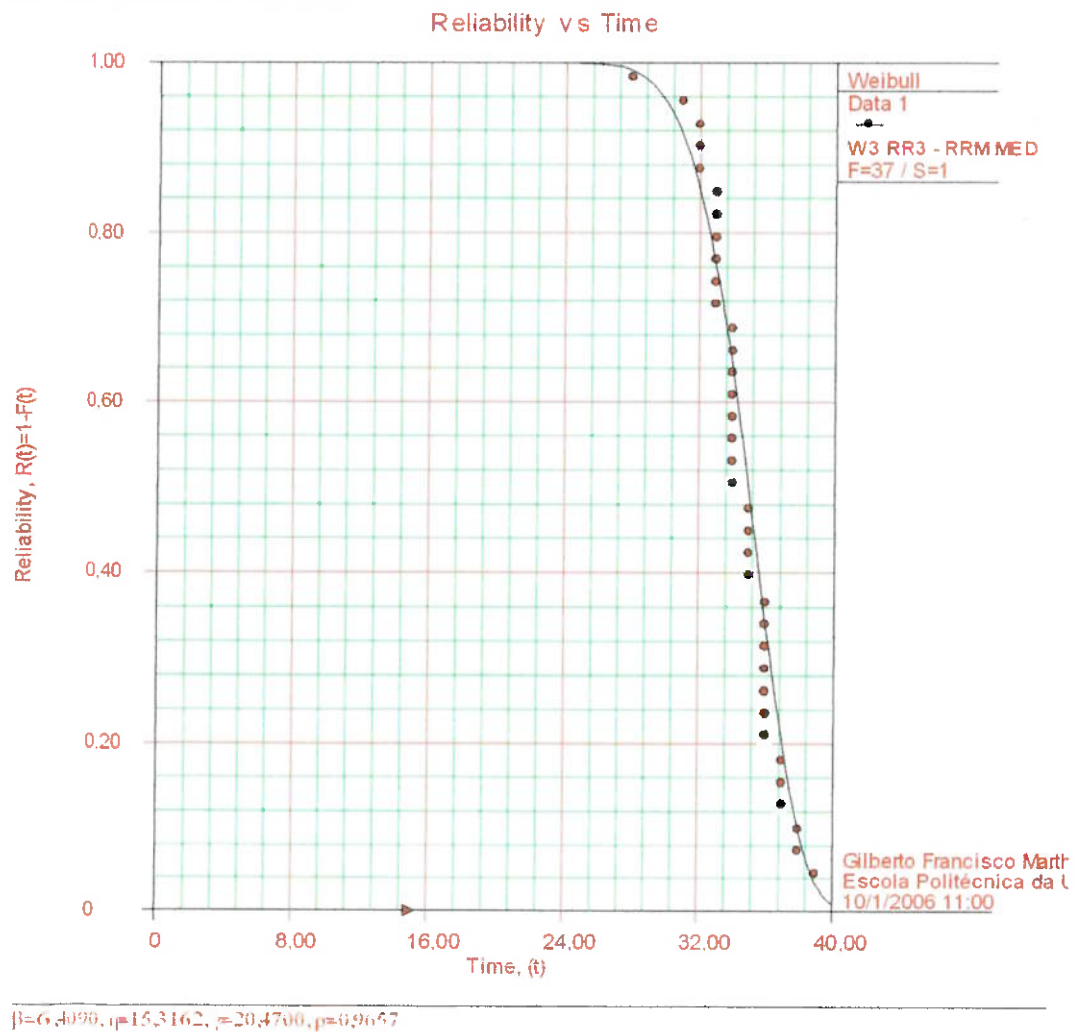
ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com



Da análise dos resultados, conclui-se que o coeficiente de correlação ($\rho = 0,9588$) é levado (próximo de um) o que nos diz que também é uma boa aproximação.

E na sequência, testou-se também a aproximação com Weibull 3 Parâmetros:

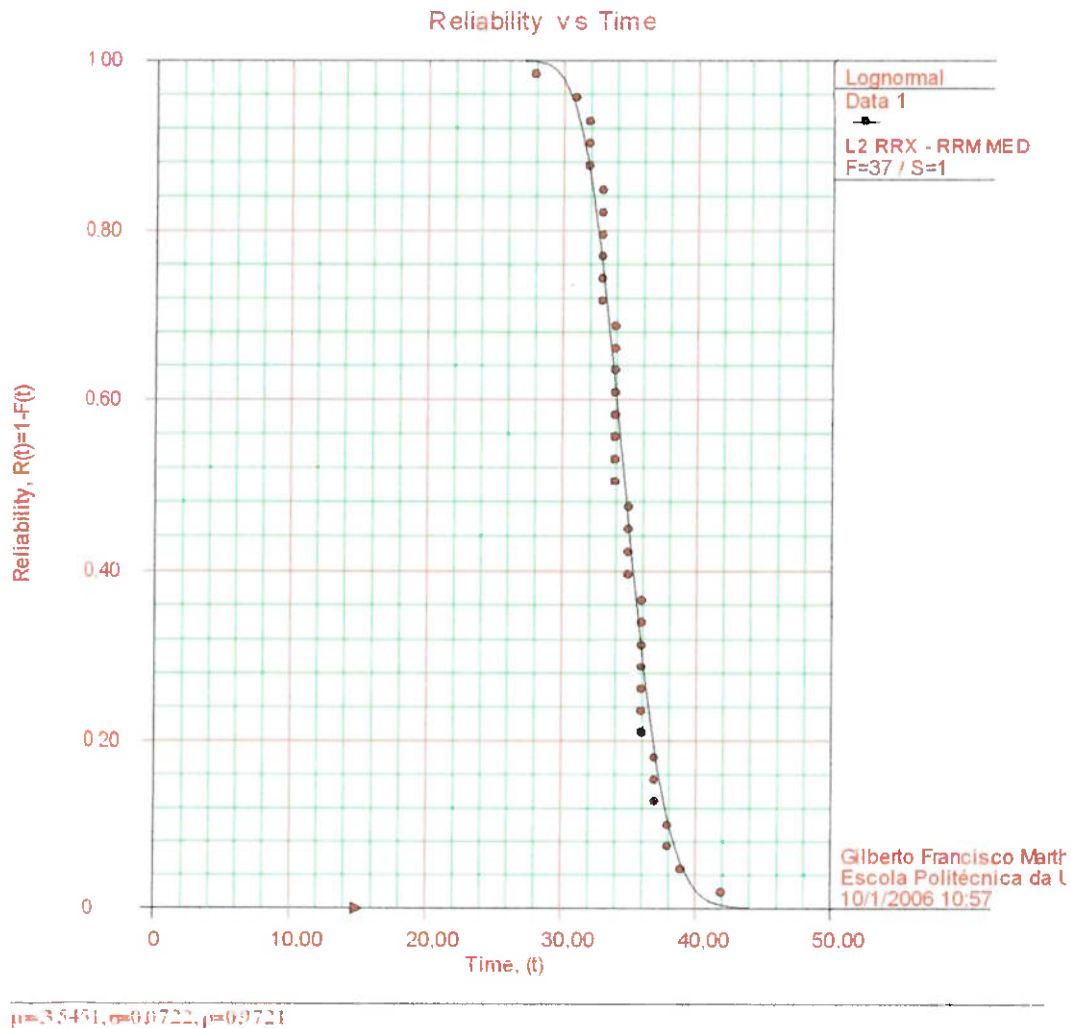
ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com



Pelo coeficiente de correlação ($\rho = 0,9657$) este também possui uma boa correlação

Em seguida utilizou-se a aproximação Lognormal:

ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com



Analisando os resultados, pode-se observar que o coeficiente de correlação ($\rho = 0,9657$) é levado (próximo de um) o que nos diz que é uma aproximação melhor. Com isto conclui-se que a melhor aproximação para esta distribuição é a Lognormal, fato este já antecipado pelos estudos de usinagem consultados.

Então, com a distribuição escolhida, utilizou-se uma outra ferramenta do mesmo software para avaliar a confiabilidade do processo; que gerou os seguintes resultados:

ANÁLISE LOGNORMAL	
End Time	Reliability
30,0	0,9789
32,5	0,8164
35,0	0,4424

Estes resultados dizem que se o operador trocar a ferramenta a cada 30 minutos de uso (sem se importar com o estado da pastilha), ele terá uma confiabilidade de aproximadamente 98%; ou seja, se dificilmente ele terá problemas com a falha da ferramenta. Com 32,5 minutos, essa confiabilidade reduz para 82%, o que representa um risco maior. E por fim, para tempos maiores que 35 minutos, a confiabilidade é menor que 50% o que nos trás a idéia de algo aleatório, ou seja, a ferramenta pode resistir ou não até o tempo de troca; ou seja, para este caso é arriscado esperar que a ferramenta não falhe antes do tempo previsto.

6.CONCLUSÕES

A idéia inicial do trabalho era de se prever o tempo de vida de uma ferramenta, substituindo-a imediatamente antes de sua falha. Ao decorrer do estudo, observamos que a sua falha esperada(falha por fim da vida útil) não acarreta prejuízos significativos à produção exceto com relação ao tempo de máquina parada para a substituição da ferramenta; diferentemente das falhas da máquina, que podem acarretar em danos a outras partes da máquina e à peça a ser fabricada. No entanto, quando se trata de uma produção repetitiva(como no nosso caso) ou uma produção seriada, esse tempo de máquina parada gera custos bastante significativos. Justificando assim, a elaboração de estudos como este.

Analisando os dados e estudos apresentados, podemos observar que o tempo de vida de uma ferramenta tende a uma média de aproximadamente 34 minutos, com uma boa precisão(pouca variação).

Além disso, a análise feita pelo software(Weibull) afirma que se trocarmos a ferramenta após 30 minutos de uso, teremos uma confiabilidade de 98%, ou seja dificilmente teremos problemas de falhas com elas. Como essas ferramentas provavelmente teriam um tempo de vida restante de aproximadamente 4 minutos, elas poderiam ser programadas para serem utilizadas em momentos onde a fábrica estivesse com a carteira de clientes desafogada, ou seja, em períodos de baixas vendas; pois, além de se ter mais tempo para trocar as peças, utilizando-se essas ferramentas, a fábrica não terá custos com ferramentas nesse período, gerando assim, mais “fôlego” à empresa.

Tendo em vista este fato, podemos fazer uma melhor programação logística das pastilhas a serem utilizadas, otimizando assim o número de trocas de ferramentas por peça fabricada, e conseqüentemente diminuindo o tempo de usinagem de uma peça.

Como o tempo de troca de uma ferramenta é significativo, pois implica em não só apenas trocar a pastilha, mas em alinhar novamente a peça; e sendo o custo da usinagem de uma peça diretamente proporcional ao seu tempo de usinagem; chegamos à conclusão de que este estudo é economicamente viável.

7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] O'CONNOR, Patrick D. T. *Practical Reliability Engineering*. 2nd edition. Inglaterra, 1988
- [2] LEWIS, E.E. Introduction to reliability engin
- [3] RELIASOFT BRASIL. Disponível em <<http://www.reliasoft.com.br/Weibull/>>
- [4] SECO TOOLS. Disponível em <<http://www.secotools.com>>
- [5] METSO MINERALS. Disponível em <<http://www.metsominerals.com.br/>>
- [6] AMORIM, H. J. Disponível em <<http://www.biblioteca.ufrgs.br/bibliotecadigital/2002-2/tese-eng-0343470.pdf/>>
- [7] WEBER, T. S. Disponível em <<http://www.inf.ufrgs.br/~taisy/disciplinas/TFslides/TFgrad03medidas.pdf/>>
- [8] HEIGINBOTHAM, W. B., PANDEY, P. C., 1966. *Taper Turning Tests Produce Reliable Tool Life Equation*, Proc. 7th M. T. D. R. Conf. P 515.
- [9] ASME, 1952. *Manual on Cutting the Metals*, the American Society of Mechanical Enginners, USA.
- [10] FERRARESI, D., 1970. *Fundamentos da Usinagem dos metais*, Editora Edgard Blücher, São Paulo.
- [11] KÖNIG, W. *Tecnologia de Fabricação*. Tradução por Walter L. Weigaertner, Aachen, 1981.