

FMEA como ferramenta para análise de falha de um produto – Avaliação da rugosidade superficial do processo de torneamento a quente

FMEA as a tool for failure analysis of a product – Evaluation of the surface roughness of the hot turning process

Liovani Beatriz Bremm¹ - Universidade Federal do Pampa - Centro Tecnológico de Alegrete - Curso de Engenharia Mecânica

Aldoni Gabriel Wiedenhoft² - Universidade Federal do Pampa - Centro Tecnológico de Alegrete - Curso de Engenharia Mecânica

Alexandre Silva de Oliveira³ - Universidade Federal do Pampa - Centro Tecnológico de Alegrete - Curso de Engenharia Mecânica

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo buscar por melhorias no processo de torneamento a quente no aço ABNT 1045, sob quatro condições de temperatura, através do Método de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos (FMEA). A metodologia dos experimentos contou com fontes externas de calor, onde as amostras foram aquecidas em um forno elétrico e em seguida inseridas no torno mecânico, realizadas em Maio de 2017, no laboratório do curso de Engenharia Mecânica. A temperatura das peças foi mantida através de duas resistências elétricas infravermelho em cerâmica, que estavam ajustadas em um suporte e devidamente presas ao redor da peça no torno. Dessa forma o FMEA se faz necessário para identificar falhas potenciais, pois os processos de fabricação possuem vastas aplicações na fabricação de peças e máquinas. Através da aplicação do formulário FMEA no produto do torneamento a quente identificou-se as falhas e possíveis prevenções, e os resultados obtidos evidenciam a melhora em três dos cinco principais parâmetros adotados, sendo eles o equipamento de medição de temperatura, o manuseio das amostras e obtenção dos resultados do experimento.

Editor Responsável: Prof.
Dr. Hermes Moretti Ribeiro da
Silva

Palavras-chave: Torneamento. Fontes externas de calor. Rugosidade superficial. FMEA.

ABSTRACT

The aim of this work is to search for improvements in the production process of the ABNT 1045 stainless steel hot tournament, under four temperature conditions, through the Failure Mode Analysis Method and its Effects (FMEA). A methodology of the experiments used external sources of heat, where the samples are heated in an electric oven and then inserted into the lathe in May, 2017 in the laboratory of the Mechanical Engineering course. The temperature of the pieces was maintained through two ceramic infrared electrical resistors, which are fitted into a bracket and properly fastened around the non-lathe piece. In this way the FMEA is necessary to identify potential failures, since manufacturing processes have vast applications in the manufacture of parts and machines. By applying the FMEA checklist, to the hot-turning products, failures and possible preventions were identified, and the results obtained show an improvement in three of the five main parameters adopted, namely temperature measurement equipment, sample handling and obtaining the results of the experiment.

Keywords: Turning. External heat sources. Surface roughness. FMEA.

1. Unipampa, Avenida Tiarajú, 810, Bairro Ibirapuitã, Alegrete, RS. lio.06@hotmail.com; 2. aldoniwiedenhoft@unipampa.edu.br; 3. alexandresilva@unipampa.edu.br

BREMM, L. B.; WIEDENHOFT, A. G.; OLIVEIRA, A. S. FMEA como ferramenta para análise de falha de um produto – Avaliação da rugosidade superficial do processo de torneamento a quente. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 14, n. 2, p. 17-35, 2019.

DOI: 10.15675/gepros.v14i2.2138

1. INTRODUÇÃO

Os processos de fabricação de usinagem são amplamente utilizados na indústria metal mecânica, com a fabricação de peças e máquinas das mais variadas formas e dimensões, sendo de grande relevância seu estudo. Segundo Ferraresi (1970) as operações de usinagem são aquelas que conferem formas, dimensões ou acabamento a peça que está sendo trabalhada, produzindo cavaco durante a remoção de material.

De acordo com Diniz, Marcondes e Coppini (2010) o processo de usinagem pode ser classificado através dos movimentos entre a ferramenta e a peça, e estão associados a direções, sentidos, velocidades e percursos.

Segundo Trent e Wright (2000) a maioria das formas utilizadas no mundo da engenharia é produzida pelos processos de usinagem. No processo de torneamento a peça gira em torno de seu eixo enquanto a ferramenta de corte realiza os movimentos de avanço longitudinal e/ou transversal (MACHADO *et al.*, 2011).

O torneamento é um processo de fabricação sujeito a diversas falhas, e de acordo com Macedo, Nardini e Ferrer (2005) atuar de forma preventiva é o primeiro passo para a melhoria contínua, sendo um diferencial para as empresas sobreviverem no mercado.

Já o Método de Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos, conhecido como FMEA, é uma ferramenta que busca evitar falhas no projeto do produto ou processo, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria (ROZENFELD *et al.*, 2006).

E segundo Souza (2011) o acabamento superficial está relacionado ao projeto, como superfícies de componentes deslizantes que exigem um maior acabamento, em eixos de mancais, e em geral possuem um maior custo de fabricação.

Dessa forma, o tema de pesquisa consiste na aplicação do FMEA na análise de falhas potenciais no processo de torneamento a quente, tendo como problema de pesquisa: quais as possíveis melhorias para se conseguir bons resultados para a rugosidade superficial em um processo de usinagem por torneamento?

O objetivo geral é encontrar melhores resultados na rugosidade superficial no torneamento a quente e os objetivos específicos são:

- 1) analisar as melhorias no desenvolvimento do produto com a aplicação de fontes externas de calor para aquecer as amostras a serem trabalhadas e;

2) demonstrar a utilização do FMEA na fase de projeto detalhado do produto.

A justificativa para o presente estudo é tida com base na importância que os processos de fabricação possuem na indústria do segmento metal mecânico. Como hipóteses iniciais para o trabalho têm-se: 1) diferentes condições de temperatura influenciam no comportamento do material torneado, em relação ao acabamento superficial; 2) a aplicação do formulário FMEA permite verificar as falhas no torneamento e propor ações de melhoria.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nessa etapa é apresentada uma revisão da literatura que envolve o desenvolvimento do produto, ou seja, da rugosidade superficial do torneamento a quente. Também será abordada a aplicação da FMEA no estudo na análise de falhas de processos e produtos desenvolvidos.

2.1 Método da Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA)

A FMEA, ou *Failure Mode and Effect Analysis*, como o próprio nome sugere é um método para analisar os tipos de falhas e seus efeitos. A FMEA é uma ferramenta de solução de problemas voltada para a ação em grupo na identificação, eliminação ou redução dos efeitos negativos das falhas em sistemas, subsistemas, produtos ou processos antes que ocorram (NETO, 2014).

O resultado da aplicação da FMEA é a quantificação dos riscos de falha baseada na criticidade de cada modo de falha, provendo uma priorização de modos de falha e uma lista de ações preventivas para seu controle e remoção (FRANK *et al.*, 2014).

O formulário de aplicação do FMEA, segundo Rozenfeld (2006), pode ser visto no Quadro 1, em que os índices podem ser definidos como:

S – Severidade, quão severo é o efeito daquela falha para o cliente;

O – Ocorrência mede a probabilidade de ocorrência da causa;

D – Detecção mede a probabilidade dos meios atuais detectarem a falha;

R – Prioridade de risco é calculada por meio da multiplicação dos três coeficientes anteriores.

O mesmo autor afirma que o formulário FMEA é um documento “vivo” que é importante, pois pode proporcionar para a empresa:

- Uma forma sistemática de catalogar informações sobre as falhas dos produtos/processos;
- Melhor conhecimento dos problemas nos produtos/processos;
- Diminuição de custos por meio da prevenção de ocorrência de falhas;
- O benefício de incorporar, dentro da organização, a atitude de prevenção de falhas, de cooperação e trabalho em equipe e a preocupação com a satisfação do cliente.

Quadro 1 – Formulário FMEA.

Descrição do Produto /Processo	Função (ões) do produto	Tipo de Falha Potencial	Causa de Falha em Potencial	Controles Atuais	Índices				Ações de Melhoria										
					S	O	D	R	Ações Recomendadas	Responsável/Prazo	Medidas Implantadas	Índices Atuais							
												S	O	D	R				

Fonte: Adaptado de Rozenfeld (2006).

Dessa forma cabe ressaltar que o principal objetivo da FMEA segundo Martins e Andrade Junior (2011) é realizar um processo de análise para prevenir a existência de falhas com vista à satisfação do cliente, ou seja, a base do processo é o alcance da qualidade, pois quando o produto apresenta falhas desagradam o cliente, podendo causar a perda do mesmo ou fatalmente do mercado.

Devido à grande competitividade que as indústrias enfrentam para continuarem ativas no mercado de trabalho, é essencial o uso da ferramenta FMEA (LAURENTI *et al.*, 2012). E como afirmado por Bastos (2006) é um elemento-chave na prevenção de falhas, gerando confiabilidade dos produtos e processos de uma organização.

O Quadro 2 mostra alguns autores que empregaram a ferramenta FMEA em seus estudos.

Quadro 2 – Relação de trabalhos envolvendo o uso da ferramenta FMEA.

Autor/Ano	Objetivo da pesquisa	Método	Resultados
Laurenti, Rozenfeld e Franieck, 2012	Avaliação da aplicação dos métodos FMEA e DRBFM no processo de desenvolvimento de produtos em uma empresa de autopeças	Pesquisa exploratória	A avaliação indicou uma concordância entre o descrito na literatura e o aplicado na unidade de negócio e apontou tanto áreas e práticas fortalecidas quanto oportunidades para melhoria
Macedo, Jurandir e Ferrer, 2005	FMEA aplicado no processo de usinagem de disco de freio	Pesquisa descritiva	Muito positivo para a empresa em questão, pois o FMEA existente era extremamente pobre e com uma análise de falhas superficial
Martins e Andrade Jr., 2011	A metodologia de análise de modo e efeitos de falha potencial: um estudo de caso em uma indústria de auto peças	Pesquisa descritiva	A aplicação da FMEA em uma indústria de autopeças gerou um trabalho bem coordenado e planejado, desempenhando um papel importante na minimização de riscos, custos, potencializando o processo de tomada de decisão a nível de produção.
Bastos, 2006	Aplicação da FMEA em um sistema produtivo envolvendo o processo de fabricação de uma engrenagem	Pesquisa explicativa	Relevantes vantagens, pois serve como um mapa do processo identificando todas as fases de forma clara e objetiva, ressaltando pontos fortes e fracos, e auxilia na tomada de decisões
Neto, 2014	Uso da FMEA na melhoria da durabilidade de um acoplamento mecânico aplicado em motor de partida	Pesquisa explicativa	O uso do FMEA melhorou o produto, mostrando a capacidade dessa ferramenta de auxiliar na maturidade do gerenciamento de projetos e no trabalho em equipe
Frank et al., 2014	Integração do QFD e da FMEA, permitindo decidir quais características da qualidade e confiabilidade são prioritárias para o desenvolvimento dos componentes do produto	Pesquisa exploratória	O emprego dessas ferramentas permite o compartilhamento do conhecimento da equipe de desenvolvimento, pois integra as visões de planejamento da qualidade a visão de prevenção de falhas

Fonte: Próprios Autores.

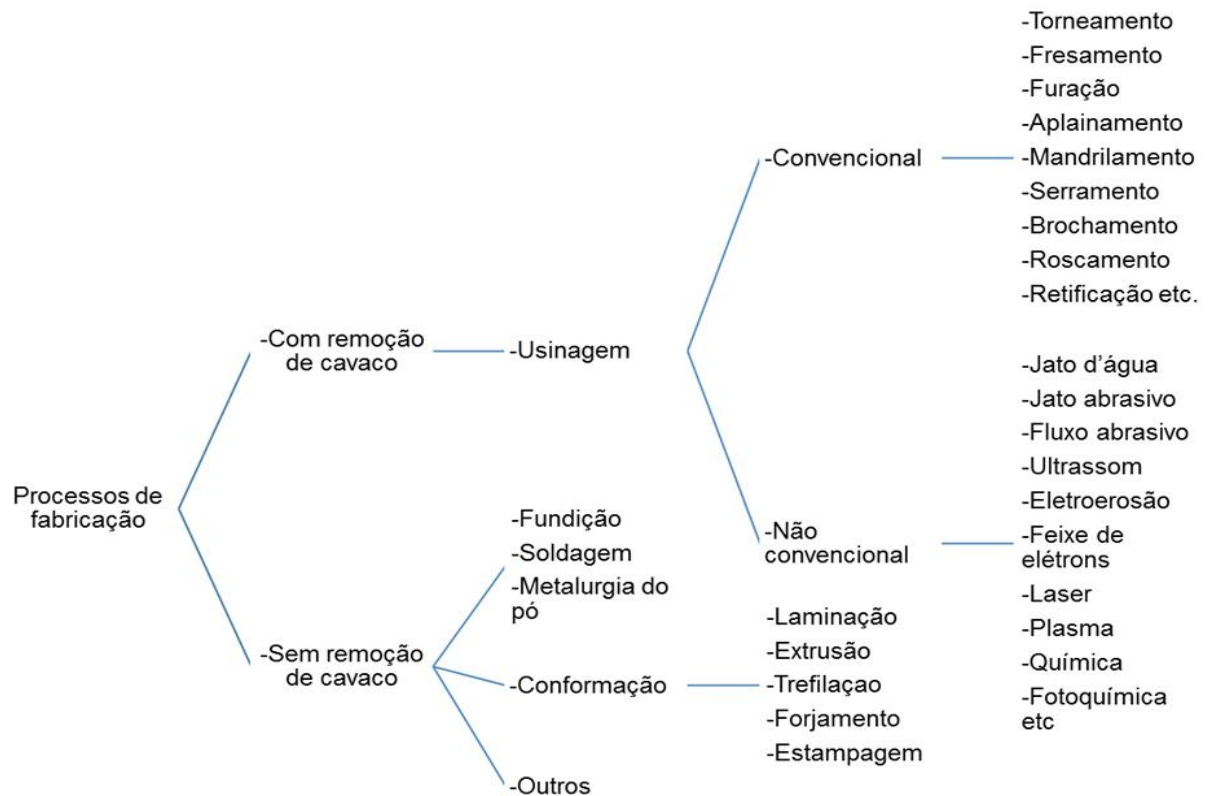
2.2 Rugosidade Superficial

Integridade superficial é utilizada para descrever a qualidade de uma superfície, englobando diversos fatores que a podem influenciar, tais como: deformações plásticas, ruptura, tensões residuais, entre outros (MACHADO *et al.*, 2011). A rugosidade superficial

do estudo foi obtida no processo de torneamento, e segundo Amorim (2002) no processo a peça é fixada ao mandril do torno e rotaciona, enquanto a ferramenta se move em um plano que contém o eixo de rotação da peça.

Na Figura 1 são mostradas as divisões dos processos de fabricação, sendo o torneamento um processo convencional da usinagem, e ocorre através da remoção de material, denominado cavaco.

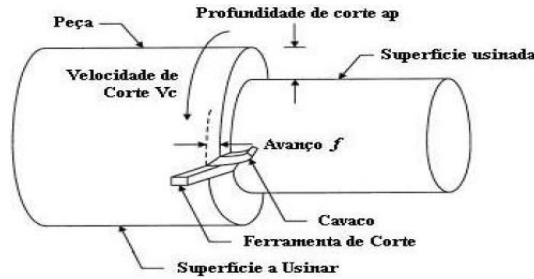
Figura 1 – Classificação dos processos de fabricação.



Fonte: Adaptado de Machado et al. (2011).

Na Figura 2 é possível observar o processo de torneamento externo de uma superfície cilíndrica, como a direção de avanço, a ferramenta de corte, profundidade de corte, geração de cavaco, e como resultado a superfície usinada.

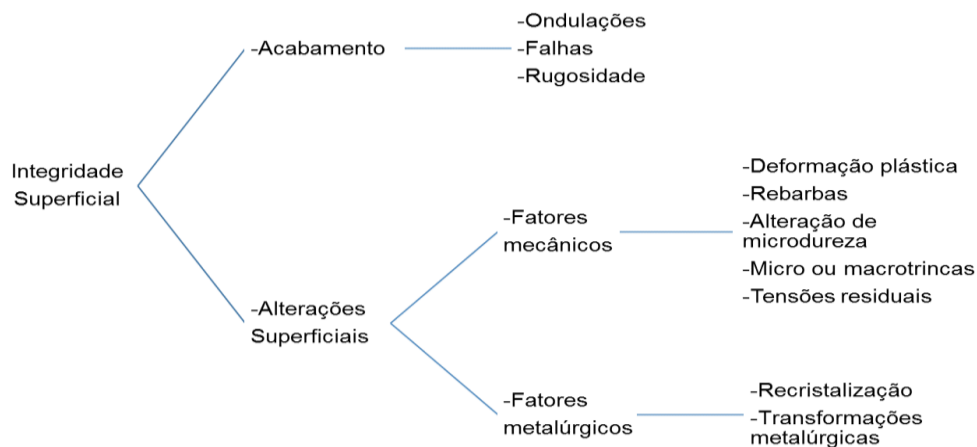
Figura 2– Parâmetros de corte e superfícies em torneamento cilíndrico externo.



Fonte: Amorim (2002).

A classificação da integridade superficial está diretamente ligada ao acabamento da superfície, como a rugosidade e as alterações subsuperficiais, relacionado a fatores mecânicos e metalúrgicos, como visto na Figura 3.

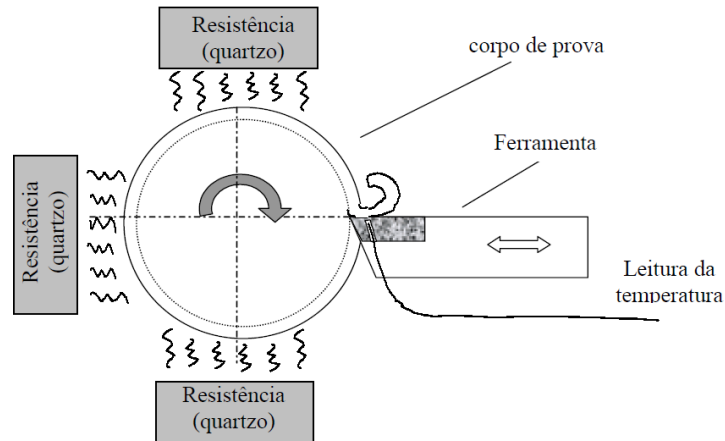
Figura 3 – Classificação da integridade superficial.



Fonte: Adaptado de Machado *et al.* (2011).

Uma alternativa para diminuir as tensões residuais segundo a metodologia adotada por Mello *et al.* (2002), consiste na usinagem de corpos de prova que são aquecidos com resistências a quartzo de 500 watt de potência, modelo FTRZ da empresa Eletrothermo, onde os corpos de prova ficaram a uma distância de 10 mm dessas fontes de calor infravermelho, esquema observado na Figura 4.

Figura 4 – Representação esquemática do experimento.



Fonte: Mello et al. (2002).

De acordo com Spinelli Junior (2004) no processo de torneamento a quente auxiliado por resistências em quartzo nota-se menores valores de rugosidade das peças usinadas, possivelmente em decorrência de melhores condições obtidos com a diminuição do limite de escoamento do material.

Os materiais com alta resistência mecânica, como aços com alto teor de manganês, são usados na indústria aeroespacial e nuclear, sendo geralmente difíceis de usinar (TOSUN; OZLER, 2004). De acordo com Ranganathan e Senthilvelan (2010) o processo de usinagem a quente foi desenvolvido em indústrias para remover grandes quantidades de material sem comprometer a usinagem e a qualidade. O mesmo autor afirma que na usinagem a quente, a peça aquecida reduz a resistência ao cisalhamento do material.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia aplicada nesse estudo pode ser dividida em três partes para facilitar a compreensão, sendo elas: objeto de estudo, procedimento de coleta de dados e procedimento de análise dos dados.

3.1 Objeto de estudo

O presente estudo visa obter resultados através da aplicação da ferramenta FMEA em um processo de fabricação, o torneamento. Dessa forma, este trabalho trata-se de uma

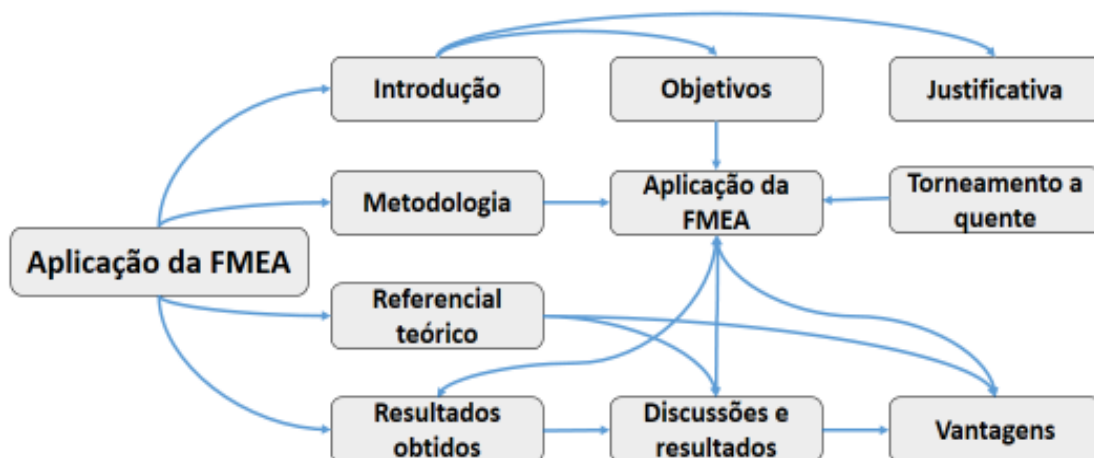
pesquisa exploratória, pois tem como objetivo oferecer informações e orientar para possíveis melhorias. O questionamento da pesquisa é:

- 1) Ocorrem melhores resultados na rugosidade superficial no torneamento a quente?
- 2) Houve melhorias no desenvolvimento do produto com a aplicação de fontes externas de calor?
- 3) A aplicação da ferramenta FMEA nessa fase de projeto detalhado trouxe vantagens na indicação de falhas potenciais e ações de melhoria?

A revisão da literatura consiste no estudo aprofundado do tema e análise da viabilidade do experimento. A escolha do material foi com base em sua larga escala de aplicação da indústria, e os ensaios seguiram todas as etapas da metodologia. A aplicação da FMEA foi para identificar as falhas e propor ações simples de melhoria, podendo ser realizadas pelo próprio operador durante a realização dos experimentos.

Para a realização da parte experimental do estudo, foi feito um cronograma das etapas que foram seguidas, de forma a simplificar as decisões a serem tomadas em cada etapa da metodologia, e pode ser observada na Figura 5. Através da imagem fica clara a ligação do objeto de estudo, FMEA, com todos os itens do trabalho, pois tem uma relação com: introdução, mais especificamente com os objetivos e a justificativa; metodologia, na aplicação da ferramenta no torneamento a quente; referencial teórico; e os resultados obtidos, com relação às discussões e vantagens encontradas.

Figura 5 – Mapa mental das etapas seguidas no estudo.



Fonte: Próprios Autores (2018).

3.2 Procedimentos de coleta de dados

Para a obtenção dos resultados dos experimentos, foram determinados os principais parâmetros críticos do formulário da FMEA no processo: aquecimento, resistências, equipamento, manuseio e resultados. Após essa etapa foi feita a escolha do material e realizados os experimentos. Esses ensaios foram realizados no laboratório do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pampa, campus Alegrete, no primeiro semestre letivo de 2017.

Para o aquecimento as amostras de aço ABNT 1045 com 75 mm de comprimento e 19 mm de diâmetro, fez-se uso do forno elétrico com interface computadorizada pertencente ao laboratório do curso de Engenharia Mecânica para atingirem as temperaturas pré-determinadas. As quatro temperaturas foram: temperatura ambiente (20°C), 200°C, 400°C e 600°C. Devido às perdas de calor no percurso forno elétrico/torno mecânico, as amostras foram aquecidas 200°C acima do valor determinado.

As resistências utilizadas nos experimentos foram adquiridas da empresa Eletrothermo, possuem potência nominal de 500 watt e tensão elétrica de 220 Volts, Figura 6.

Esses emissores infravermelhos de temperatura possuem um grande tempo de aquecimento, sendo assim utilizadas somente para manter a temperatura de trabalho escolhida, de forma a otimizar o tempo dos ensaios.

Figura 6 – (a) Emissor Infravermelho em Cerâmica 2GQ e (b) Emissor Infravermelho em Cerâmica 1FPC.



Fonte: Adaptado de Eletrothermo (2017).

As resistências foram ajustadas em suportes para facilitar seu ajuste no torno mecânico durante a usinagem, e foram ajustadas ao redor da peça de trabalho, e pode ser vista mais claramente na Figura 7.

Figura 7 – Suporte de resistências preso ao torno mecânico.



Fonte: Próprios Autores (2018).

O comprimento de usinagem foi de 30 mm, pois dessa forma a peça estaria com a maior parte de corpo presa as três castanhas do torno, evitando que a mesma saísse de centro durante a retirada de material. Na Figura 8 – (a), pode-se observar o medidor de rugosidade já adaptado em um suporte para realizar as medições, da empresa Homis, marca TIME, e modelo TR-200.

O controle de temperatura foi feito desde a retirada do forno até o final do torneamento, esse medidor de temperatura é modelo Fluke 62Max, e possui um termômetro infravermelho que possibilita a leitura a uma determina distância, visto na Figura 8 – (b).

Figura 8 – (a) rugosímetro e (b) Medidor de temperatura.



Fonte: Próprios Autores (2018).

O comprimento de medição foi de 4 mm, sendo realizadas quatro medições na superfície cilíndrica, a cada 90° uma medição. Os parâmetros adotados para o torno mecânico, durante a retirada de material, e quantidade de amostras podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 – Combinações das amostras e parâmetros adotados durante o processo.

T [°C]	N° Amostras	Avanço [mm/volta]	Avanço [mm/volta]	RPM	Profundidade [mm]
20°C	3	0,2	0,05	600	0,5
200°C	3	0,2	0,05	600	0,5
400°C	3	0,2	0,05	600	0,5
600°C	3	0,2	0,05	600	0,5

Fonte: Próprios Autores (2018).

3.3 Procedimentos de análise de dados

Os dados foram analisados de forma quantitativa com o uso da estatística descritiva, cálculo da média e desvio-padrão dos resultados obtidos variando-se a temperatura, e qualitativamente com o formulário FMEA de diagnóstico e ação de melhorias.

A validação dos resultados foi feita com base na literatura existente, em que é feita uma comparação dos dados obtidos com os dados de outros autores. Essa etapa do estudo pode ser vista logo após a demonstração do formulário FMEA com as propostas de melhorias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização dos experimentos laboratoriais, pode-se observados os resultados obtidos, Tabela 2, em que a mesma apresenta as médias encontradas para a superfície cilíndrica nas quatro condições de temperatura, para os avanços de 0.2 e 0.05 mm/volta, rotação de 600 RPM e uma profundidade de corte de 0.5 mm. Também foram calculados os desvios padrões que servem para indicar o grau de variações desses valores com relação à média obtida. Nos dados da Tabela 2 fica clara a não linearidade dos resultados obtidos, fator esse que pode ser associado a diversos parâmetros que foram adotados nos experimentos.

Tabela 2 – Resultados obtidos para as 24 amostras nas quatro condições de temperaturas, sob dois diferentes avanços.

Ensaio	T [°C]	Média Rugosidade à 0,2 mm/volta [μm]	Desvio Padrão	Média Rugosidade à 0,05 mm/volta [μm]	Desvio Padrão
1	20				
2	20	1,717	0,079	3,127	0,170
3	20				
4	200				
5	200	1,256	0,030	1,201	0,669
6	200				
7	400				
8	400	1,600	0,189	5,144	0,296
9	400				
10	600				
11	600	1,400	0,032	2,910	0,335
12	600				

Fonte: Próprios Autores (2018).

A ferramenta FMEA foi aplicada durante o processo, de forma a evidenciar as falhas potenciais. O resultado avaliado é a rugosidade superficial do torneamento a quente, então devem ser avaliadas diversas funções que fazem parte do experimento. Entre as funções envolvidas que serão avaliadas no formulário tem-se:

- Forma de aquecimento das amostras, onde no trajeto da retirada do material do forno até a sua colocação no torno mecânico tende a ter uma grande perda de calor;
- Utilização de resistências elétricas infravermelho em cerâmica, quanto a sua linearidade na forma de fornecimento de calor para manter o processo na faixa de temperatura determinada;
- Medidor de temperatura, quanto ao seu correto uso durante o procedimento;
- Manuseio do material após o processo de usinagem, de modo a submeter a peça a nenhum tratamento superficial pela diferença brusca de temperaturas;
- Forma de coleta dos dados da rugosidade superficial, correta escolha dos parâmetros do aparelho digital utilizado e dos tratamentos dos dados que foram obtidos.

Na aplicação do formulário FMEA foram adotados valores para os índices entre 1 e 10, de forma a tornar mais clara a identificação da ocorrência de falhas. Os valores adotados para os índices foram escolhidos com base na influência que os mesmos têm sobre o processo, e podem ser vistos no Quadro 3 os cinco tipos de funções avaliadas no formulário.

Quadro 3 – Formulário da FMEA aplicado ao processo parte 1.

Descrição do Produto /Processo	Função (ões) do produto	Tipo de Falha Potencial	Causa de Falha em Potencial	Controles Atuais	Índices			
					S	O	D	R
Aquecimento	Atingir a temperatura de projeto	Manejo incorreto	Temperatura não desejada	Através de medidores de temperatra	10	10	6	600
Resistências	Manter a temperatura durante o processo	Uso incorreto do equipamento	Imprecisão do equipamento	Através de medidores de temperatra	5	5	6	150
Equipamento de medição temperatura	Controlar a temperatura	Uso incorreto do equipamento	Imprecisão do equipamento	Verificação de seus manuais	10	5	6	300
Manuseio	Correto manejo das peças quando retiradas do torno	Choque térmico	Tratamentos superficiais indesejados	Cuidados do poerador	10	5	6	300
Resultados	Obter dados	Uso incorreto do equipamento	Parâmetros inadequados	Verificação de seus manuais e cuidados do operador	10	10	6	600

Fonte: Próprios Autores (2018).

No Quadro 3 ficam evidenciados os grandes índices encontrados nesses parâmetros críticos, sendo os principais o aquecimento e os resultados. No Quadro 4 é possível observar a segunda parte dos resultados obtidos na aplicação do formulário, que apresenta as ações de melhoria do estudo.

Quadro 4 – Aplicação do formulário FMEA parte 2.

Ações de Melhoria						
Ações Recomendadas	Responsável/Prazo	Medidas Implantadas	Índices Atuais			
			S	O	D	R
Manter um controle durante todo o processo	Operador	Nenhuma				
Verificação de manuais e um maior estudo sobre o seu uso	Operador	Nenhuma				
Verificação de manuais	Operador	Verificação dos parâmetros do equipamento	2	2	2	8
Cuidados durante a locomoção das peças	Operador	Materiais adequados para evitar a mudança brusca de temperatura	5	5	2	50
Verificação de manuais	Operador	Verificação dos parâmetros do equipamento	1	1	2	2

Fonte: Próprios Autores (2018).

Os resultados encontrados na aplicação do formulário vistos no Quadro 4 aponta a necessidade do uso dessa ferramenta, através de medidas simples de melhoria. No Quadro 3 foram avaliados os cinco principais parâmetros de influência, onde os maiores índices de prioridade de risco foram vistos no aquecimento das amostras, durante o processo. Como a influência da temperatura é a essência do estudo, a coleta de resultados teve de ser cuidadosa, para evitar uma incorreta análise de resultados que poderiam comprometer todo o experimento realizado em laboratório.

O menor índice de prioridade de risco encontrado foi para as resistências elétricas infravermelhas, pois as mesmas dependem apenas de seu correto manuseio e aplicação, fator esse que deverá ser corrigido pelo próprio operador do equipamento através de estudos de manuais fornecidos pelo fabricante do material.

O Quadro 4, ações de melhoria, evidencia que não houve nenhuma ação para manter um maior controle durante todo o experimento. A função de resistências também não teve nenhuma medida implantada, ficando a cargo do operador fazer uma verificação e um maior estudo sobre o uso desse tipo de equipamento para realizar o processo de torneamento.

Para o equipamento de medição de temperatura houve uma melhora significativa, onde as ações recomendadas consistiam na verificação dos manuais, e a medida implantada para diminuir o índice de prioridade de risco foi do uso e da verificação dos corretos parâmetros do equipamento.

No manuseio das peças ainda quentes teve como uma ação recomendada o cuidado na locomoção dessas amostras, onde o operador implantou como medida o uso adequado de material de forma a evitar choques de temperatura durante o manuseio. Os resultados obtidos foram muito significativos e fáceis de serem atingidos, através de ações simples de cuidados do operador.

Os resultados coletados da superfície cilíndrica tiveram como ação recomendada uma verificação do manual do equipamento, onde o operador, responsável pela melhoria fez uma correta verificação dos parâmetros, evitando dessa forma erros decorrentes de medições.

Segundo Singh e Sham (2013) que aplicou a FMEA na fabricação de porcas, obteve vários resultados significativos no uso dessa ferramenta, assim como Rachieru, Belu e Anghel (2015) que avaliou o risco em modos de falha e análise do torno CNC, aplicou um método melhorado obtendo uma avaliação mais precisa, resultando em uma estabilidade maior para o produto e processo.

Os dados obtidos foram altamente significativos, diminuindo a ocorrência de falhas potenciais através da proposta de ações de melhorias fáceis de serem implantadas no processo, fator de elevada importância por se tratar de uma metodologia até então pouco aplicada e vários parâmetros envolvidos durante todo o processo.

Os resultados estão de acordo com os autores referenciados, que obtiveram melhoras através da aplicação da FMEA. As fases que não obtiveram melhores resultados necessitam de um estudo maior, e da implementação das ações propostas em futuros experimentos.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho atingiu seus objetivos na busca por ações de melhorias através da aplicação da ferramenta FMEA, no processo de torneamento a quente com fontes externas de calor para aquecimento das peças. Fica evidenciada a necessidade dessa ferramenta, pois a mesma foi utilizada na fase do projeto detalhado do produto, por meio de análise de falhas em potencial, como produto final a rugosidade de peças torneadas.

Dos itens avaliados no formulário, três apresentaram uma melhora significativa dos seus resultados apenas com implantação de medidas simples de ações de melhoria feitas pelo próprio operador, entre eles são: equipamento de medição de temperatura, manuseio das amostras e obtenção dos resultados do experimento.

Pode-se então concluir que a não linearidade dos resultados obtidos pode ser associadas a falhas potenciais apresentadas no formulário, e em futuros experimentos poderão ser prevenidos através de medidas simples de melhorias.

O uso do método de análise dos modos de falha (FMEA) é considerado um elemento de enorme importância para melhora de um produto ou processo, dando uma maior confiabilidade nas etapas e funções que fazem parte do projeto.

Dessa forma a sugestão para trabalhos futuros, relacionados ao presente estudo, é uma busca por implementação de melhorias nas etapas de:

- a) Aquecimento do material, de forma a atingir as temperaturas desejadas e especificadas no projeto;
- b) Ações de melhoria quanto às resistências utilizadas no processo, realizando um maior estudo sobre a correta forma de utilização e aplicação no processo de torneamento de materiais.

Referências

AMORIM, H. J. **Estudo da Relação entre Velocidade de Corte, Desgaste de Ferramenta, Rugosidade e Forças de Usinagem em Torneamento com Ferramenta de Metal Duro**. 2002. 131 p. Dissertação (Mestrado em Mecânica dos sólidos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2002.

BASTOS, A. L. A. FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) como ferramenta de prevenção da qualidade em produtos e processos – uma avaliação da aplicação em um processo produtivo de usinagem de engrenagem. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*. 26. **Anais...ENEGEP**, Fortaleza – CE, 2006.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: Editora Artliber, 2010.

ELETROTHERMO. **Resistências Infravermelho em Cerâmica**. Disponível em: <http://eletrothermo.com.br/resistencias-infravermelho-em-ceramica/>. Acesso em: 16/06/2017.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Editora Blucher, 1970.

FRANK, A. G.; PEDRINI, D. C.; ECHEVESTE, M. E.; RIBEIRO J. L. D. Integração do QFD e da FMEA por meio de uma sistemática para tomada de decisões no processo de desenvolvimento de produtos. **Revista Production**, v. 24, n. 2, p. 295-310, 2014.

LAURENTI, R.; ROZENFELD, H.; FRANIECK, E K. Avaliação da aplicação dos métodos FMEA e DRBFM no processo de desenvolvimento de produtos em uma empresa de autopeças. **Gestão da Produção**, v. 19, n. 4, p. 841-855, 2012.

MACEDO, S. M.; NARDINI, J. J.; FERRER, M. H. FMEA aplicado no processo de usinagem de disco de freio. *In: CONGRESSO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA MECÂNICA*. 12. **Anais... CREEM**, São Paulo, SP, 2005.

MACHADO, A. R.; ABRÃO, A. M.; COELHO, R. T.; SILVA M. B. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 2ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2011.

MARTINS, G. S; ANDRADE JUNIOR., P. P. A metodologia de análise de modo e efeitos de falha potencial (FMEA): estudo de caso. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*. 1. **Anais... CONBREPRO**, Ponta Grossa, PR, 2011.

MELLO, H. J. Investigação da Operação de Torneamento a Quente Utilizando Resistência Elétrica em Quartzo. *In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA*. 2. **Anais...CNEM**, João Pessoa, PB, 2002.

NETO, A. A. M. **Uso de FMEA na melhoria da durabilidade de um acoplamento mecânico aplicado em motor de partida**. 2014. 87f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC, 2014.

RACHIERU, N.; BELU, N.; ANGHEL, D. C. An improved method for risk evaluation in failure modes and effects analysis of CNC lathe. **Journal Modern Technologies in Industrial Engineering: materials Science and engineering**, v. 95, conference 1,2015.

RANGANATHAN, S.; SENTHILVELAN, T. Optimizing the process parameters on tool QEAR of WC insert when hot turning of AISI 316 Stainless Steel. **ARPN Journal Engineering and Applied Sciences**, v. 5, n.7, 2010.

ROZENFELD, H; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. Editora Saraiva. São Paulo, 2006.

SINGH, R.; SHAM, R. Defect analysis by failure mode and effect analysis (FMEA) in manufacturing process of steering nut. **International Journal of Science, Technology & Management**, v. 4, n. 1, 2013.

SOUZA, A. J. **Processos de Fabricação por Usinagem: parte 1**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica, 2011. Disponível em: <https://chasqueweb.ufrgs.br/~ajsouza/ApostilaUsinagem.pdf>. Acesso em 16/06/2017.

SPINELLI JÚNIOR, A. J. **Análise do Processo de Torneamento a Quente Auxiliado por Resistência Elétrica de Quartzo**. 2004. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Bauru, São Paulo, 2004.

TOSUN, N.; OZLER, L. Optimisation for hot turning operations with multiple performance characteristics. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v.23, p. 777-782, 2004.

TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K. **Metal Cutting**. 4^o edição. Woburn, Massachusetts: Editora Butterworth-Heinemann, 2000.