

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a),
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir de
24/05/2021.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



**Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica**

FABIO ROMANO LOFRANO DOTTO

**TÉCNICA DE DIAGNÓSTICO DA INTEGRIDADE SUPERFICIAL DO REBOLO
DURANTE O PROCESSO DE DRESSAGEM BASEADA EM IMAGENS ACÚSTICAS
OBTIDAS POR DIAFRAGMA PIEZELÉTRICO**

**Bauru
2019**

FABIO ROMANO LOFRANO DOTTO

**TÉCNICA DE DIAGNÓSTICO DA INTEGRIDADE SUPERFICIAL DO REBOLO
DURANTE O PROCESSO DE DRESSAGEM BASEADA EM IMAGENS ACÚSTI-
CAS OBTIDAS POR DIAFRAGMA PIEZELÉTRICO**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Bauru/ FEB da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” / UNESP, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Automação

Linha de pesquisa: Mecatrônica

Orientador: Prof. Titular Paulo Roberto de Aguiar

**Bauru
2019**

Dotto, Fabio Romano Lofrano.

Técnica de Diagnóstico da Integridade Superficial do Rebolo Durante o Processo de Dressagem Baseada em Imagens Acústicas Obtidas por Diafragma Piezelétrico / Fabio Romano Lofrano Dotto, 2019

110 f. : il.

Orientador: Paulo Roberto de Aguiar

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2019

1. Mapa Acústico. 2. Dressagem. 3. Monitoramento. 4. Indústria 4.0. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru



ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE FABIO ROMANO LOFRANO DOTTO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 24 dias do mês de maio do ano de 2019, às 14:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da FEB, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. PAULO ROBERTO DE AGUIAR - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. JOSÉ ALFREDO COVOLAN ULSON do(a) Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. FABRICIO GUIMARÃES BAPTISTA do(a) Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. ARTHUR ALVES FIOCCHI do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Universidade Federal de Uberlândia, Prof. Dr. ALESSANDRO ROGER RODRIGUES do(a) Engenharia Mecânica / USP - São Carlos, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da TESE DE DOUTORADO de FABIO ROMANO LOFRANO DOTTO, intitulada **TÉCNICA DE DIAGNÓSTICO DA INTEGRIDADE SUPERFICIAL DO REBOLO DURANTE O PROCESSO DE DRESSAGEM BASEADA EM IMAGENS ACÚSTICAS OBTIDAS POR DIAFRAGMA PIEZELÉTRICO**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovado _____. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. PAULO ROBERTO DE AGUIAR

Prof. Dr. JOSÉ ALFREDO COVOLAN ULSON

Prof. Dr. FABRICIO GUIMARÃES BAPTISTA

Prof. Dr. ARTHUR ALVES FIOCCHI

Prof. Dr. ALESSANDRO ROGER RODRIGUES

Dedico este trabalho a minha esposa e filha que reconheceram meu esforço muito antes deste trabalho ser concluído. Dedico também a minha mãe e meu pai (*in memoriam*) por todo o esforço que fizeram para que eu pudesse chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por me guiar pelos caminhos da vida e sempre oferecer novas alternativas em momentos difíceis.

Agradeço a minha mãe Lucinda pelos ensinamentos passados ao longo da vida e pelo incentivo aos estudos.

Agradeço ao meu pai Angelo (*in memoriam*), que faleceu antes mesmo que este trabalho pudesse ser concluído, mas que foi o responsável pela formação do meu caráter, permitindo que pudesse alcançar meus objetivos com honestidade.

Agradeço a minha amada esposa, Karla, pela paciência, carinho e solidariedade em momentos difíceis. Você sempre esteve ao meu lado, me apoiando e acreditando que tudo daria certo.

Agradeço a minha tão amada filha, Júlia, que aceitou que me afastasse por muitas horas de sua infância e pudesse me dedicar a este trabalho. Você foi um anjo que surgiu na minha vida, repleto de doçura. Você é, mesmo sem ainda perceber, o motivo de todo meu esforço para galgar maiores degraus.

Ao meu amigo e orientador Professor Paulo Roberto de Aguiar, gostaria de agradecer profundamente pela confiança ao longo de todos esses anos, pois sem você certamente não teria alcançado os meus objetivos. Agradeço por ter feito parte da minha vida desde os meus 25 anos de idade, quando completei o meu mestrado até hoje, com 42 anos, quando concluo o meu doutorado. Posso considerá-lo certamente como meu melhor amigo, pelos ensinamentos que vão muito além dos conhecimentos técnicos adquiridos.

Ao Professor Eduardo Carlos Bianchi, por ceder o laboratório onde foram feitos os ensaios, além das orientações recebidas ao longo da pesquisa.

Ao meu amigo Felipe, por compartilhar comigo esta etapa da minha vida. Obrigado por todo auxílio que me deu para que este trabalho efetivamente acontecesse. Sem seu apoio o resultado certamente não seria o mesmo.

Ao meu amigo Wenderson, por me ajudar na realização dos ensaios no Laboratório de Usinagem por Abrasão (LUA). A sua história de vida e simplicidade faz com que as pessoas vejam a vida de uma forma diferente.

Ao Hélio, por toda ajuda dispensada e ao Cláudio, pelo apoio junto ao laboratório de usinagem.

Aos professores e funcionários da Faculdade de Engenharia de Bauru – FEB por todo ensino e atendimento prestado durante esse tempo.

Ao grande amigo Pedro Oliveira, pelas dicas e orientações recebidas durante a elaboração deste trabalho. Foram muitos os momentos que sua ajuda foi fundamental.

Ao amigo Júlio Caladrin, estagiário da empresa FAROL Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria, pelo auxílio na elaboração das imagens em 3D deste trabalho.

Ao amigo Thiago Rodrigues, vizinho do local onde trabalho, por ter sempre me motivado a seguir adiante, mesmo quando eu não estava seguro por qual caminho seguir.

Aos meus amigos de laboratório Fábio Isaac, Martin Auléstia, Leonardo Simões, Rogério Thomazella e todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho chegasse ao fim. Peço desculpas, pois certamente vou acabar me esquecendo de alguém, mesmo tentando me lembrar de todos. Portanto, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram e apoiaram essa etapa.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”

(Albert Einstein)

RESUMO

O processo de retificação é um processo amplamente utilizado para produzir formas complexas e tolerâncias precisas em peças que são necessárias especialmente para a fabricação de componentes de engenharia. A retificação é um processo de manufatura situado na parte final da cadeia de usinagem, consistindo em uma operação de remoção de material da superfície da peça usinada e utiliza como ferramenta de corte o rebolo. No decorrer do processo de retificação a ferramenta de corte sofre desgaste e com isso, torna-se necessária a realização do processo de dressagem, cuja finalidade é restaurar a eficiência de corte do rebolo. A grande dificuldade no processo de retificação consiste em identificar o momento correto para a realização da dressagem e, para isso torna-se necessária a realização do monitoramento da ferramenta de corte (rebolo). Neste contexto, no presente trabalho desenvolveu-se uma técnica inovadora de diagnóstico da integridade superficial do rebolo, durante o processo de dressagem, baseada em imagens acústicas obtidas por meio de diafragma piezelétrico. Para isso, foram realizadas marcas (falhas) em um rebolo e, posteriormente, realizados ensaios com várias profundidades de dressagem, coletando sinais por meio de um sensor de emissão acústica e de um diafragma piezelétrico. Com base nesses sinais, foram avaliadas bandas de frequência para a obtenção de imagens acústicas que representassem com maior fidelidade e nitidez as marcas impressas no rebolo. Por fim, ambos os sensores (emissão acústica e diafragma piezelétrico) foram comparados e estabelecida uma análise de resultados frente às condições de dressagem estudadas. Os resultados demonstraram que o uso do diafragma piezelétrico é eficiente para a obtenção de mapas acústicos da superfície do rebolo quando comparado com o sensor de emissão acústica e em algumas condições de usinagem obteve resultados superiores aos observados no monitoramento da ferramenta com o sensor de emissão acústica.

Palavras chave: Retificação, Monitoramento, Dressagem, Mapa acústico, Diafragma piezelétrico, Indústria 4.0, Internet das coisas.

ABSTRACT

The abrasive machining process is a widely used process for producing complex shapes in work pieces and for providing precise tolerances that are especially required for the production of engineering components. Grinding is a manufacturing process placed at the end of the machining chain, consisting of an operation to remove material from the surface of the machined part and uses grinding wheels as a cutting tool. During the grinding process the cutting tool suffers wear and tear, and thus, it is necessary to perform the dressing process, whose purpose is to restore the cutting efficiency of the grinding wheel. The great difficulty in the grinding process is to identify the correct moment to perform the dressing, and for that reason, it is necessary to perform the monitoring of the cutting tool (grinding wheel). In this context, the present work made possible the development of an innovative technique to diagnose the surface integrity of the grinding wheel, during the dressing process, based on acoustic maps obtained through the piezoelectric diaphragm. Therefore, some patterns (marks) on a grinding wheel were performed and, later, tests were carried out with several dressing depths, acquiring signals from a commercial acoustic emission sensor and a piezoelectric diaphragm. Based on these signals, frequency bands were evaluated to obtain acoustic maps that represented with more fidelity and sharpness the marks inserted in the grinding wheel. Finally, both sensors (acoustic emission and piezoelectric diaphragm) were compared and a result analysis was established given the studied dressing conditions. The results showed that the use of the piezoelectric diaphragm was efficient to obtain acoustic maps of the grinding wheel surface when compared with commercial acoustic emission sensors and in some machining conditions even better results were obtained.

Keywords: Grinding, Monitoring, Dressing, Acoustic map, Piezoelectric diaphragm, Industry 4.0, Internet of things.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	vi
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
SUMÁRIO.....	xi
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xvi
LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS	xvii
Capítulo 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA	1
1.2 OBJETIVO.....	2
1.3 PUBLICAÇÕES OBTIDAS E SUBMETIDAS.....	3
Capítulo 2 - REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1 PROCESSO DE RETIFICAÇÃO	5
2.1.1 <i>Rebolo</i>	7
2.1.1.1 Desgaste do Rebolo.....	9
2.1.2 <i>Dressagem</i>	10
2.1.2.1 Passo de Dressagem.....	11
2.1.2.2 Grau de Recobrimento da Dressagem.....	12
2.1.2.3 Agressividade do Rebolo	12
2.2 SENSORES PIEZELÉTRICOS	13
2.2.1 <i>Sensor de Emissão Acústica</i>	14
2.2.2 <i>Diafragma Piezométrico Aplicado Ao Processo De Manufatura</i>	16
2.3 MONITORAMENTO DA CONDIÇÃO DA FERRAMENTA.....	20
2.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS APLICADO A MANUFATURA.....	23
2.4.1 <i>Estatística RMS</i>	24
2.4.2 <i>Índice de Correlação Bidimensional</i>	25
2.4.3 <i>Transformada Discreta de Fourier (DFT) e Transformada Rápida de Fourier (FFT)</i> ...	26
2.5 MAPA ACÚSTICO NO MONITORAMENTO DA FERRAMENTA DE CORTE.....	27
Capítulo 3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 BANCADA DE ENSAIOS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	32
3.2 PROCESSAMENTO DE SINAIS	35
3.2.1 <i>Algoritmos de Processamento de Sinais</i>	37
3.2.1.1 Algoritmo Para Seleção de Passadas	40
3.2.1.2 Algoritmo para Segmentação do Sinal de Emissão Acústica	41

3.2.1.3	Algoritmo para Determinação Automática das Bandas de Frequência do Filtro	45
3.2.1.4	Algoritmo para Equalização de Mapas Acústicos	52
3.2.1.5	Algoritmo para Geração de Mapas Acústicos Utilizando a Estatística RMS	55
3.2.1.6	Algoritmo para a Obtenção do Índice de Correlação Bidimensional	58
Capítulo 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO		61
4.1	PARÂMETROS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DE MAPAS ACÚSTICOS	61
4.2	PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DO ÍNDICE DE CORRELAÇÃO BIDIMENSIONAL	64
4.2.1	<i>Determinação da Imagem Padrão para a Obtenção do Índice de Correlação Bidimensional</i>	64
4.2.2	<i>Localização da Marca por Meio do Índice de Correlação Bidimensional</i>	66
4.3	IDENTIFICAÇÃO DAS MARCAS DO REBOLO UTILIZANDO A ANÁLISE ESPECTRAL	67
4.4	DETERMINAÇÃO DAS BANDAS DE FREQUÊNCIA PARA A OBTENÇÃO DE MAPAS ACÚSTICOS	70
4.5	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA O SENSOR DE EMISSÃO ACÚSTICA E DIAFRAGMA PIEZELÉTRICO	76
Capítulo 5 – CONCLUSÕES		82
5.1	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS	83
Referências		84

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Elementos da retificação plana	6
Figura 2.2 - Cavaco no processo de retificação.....	9
Figura 2.3 - Esquema do Processo de Dressagem.....	11
Figura 2.4 - Agressividade do Rebolo em Função do Grau de Recobrimento.....	13
Figura 2.5 - Representação Esquemática do Fenômeno das Emissões Acústicas.....	14
Figura 2.6 - Sensores Comerciais de Emissão Acústica.....	15
Figura 2.7 - Sensor de Emissão Acústica com Elemento Piezelétrico	16
Figura 2.8 - Diafragma Piezelétrico	17
Figura 2.9 - Sensores Piezelétricos Comerciais.....	17
Figura 2.10 - Bancada de Ensaios	28
Figura 2.11 - Saída do Sistema de Mapeamento Acústico	29
Figura 3.1 - Bancada de Ensaios para a Realização dos Testes	33
Figura 3.2 - Imagem das Marcas Inseridas no Rebolo	34
Figura 3.3 - Dressador de Ponta Única.....	34
Figura 3.4 - Representação da Relação do Mapa Acústico com a Superfície do Rebolo	36
Figura 3.5 - Algoritmos de Processamento de Sinais.....	38
Figura 3.6 - Sinais de (a) Emissão Acústica e (b) Sincronismo sem Processamento...39	39
Figura 3.7 - Sinal de Emissão Acústica sem Nível DC e Amplitude Normalizada	39
Figura 3.8 - Fluxograma do Algoritmo de Seleção de Passada de Dressagem	40
Figura 3.9 - Sinal de Emissão Acústica RMS	41
Figura 3.10 - Sinal de Sincronismo	42
Figura 3.11 - Sinal de Sincronismo Ajustado.....	42
Figura 3.12 - Trecho Válido no Sinal de Sincronismo	43
Figura 3.13 - Algoritmo para Segmentação do Sinal de Emissão Acústica	44
Figura 3.14 - Processo de Filtragem Com Janela Deslizante	46
Figura 3.15 - Algoritmo de Filtragem com Janela Deslizante.....	47
Figura 3.16 - Resultado da Aplicação do Filtro Passa Banda de 3 kHz a 90 kHz.....	48
Figura 3.17 - Algoritmo de Busca de Banda de Frequências	49
Figura 3.18 – Subrotina de Cálculo da Correlação Bidimensional para o Filtro Passa Baixas	50
Figura 3.19 - Busca Automática de Frequências para Filtragem Passa Banda	52

Figura 3.20 - Distribuição Normal	53
Figura 3.21 - Algoritmo Para Equalização de Mapas Acústicos.....	54
Figura 3.22 - Mapa Acústico (a) sem Equalização e (b) com Equalização.....	55
Figura 3.23 - Algoritmo para Geração de Mapa Acústico Baseado na Estatística RMS	57
Figura 3.24 - Exemplo de Mapa Acústico Filtrado com 256 Tons de Cinza com Marcas	58
Figura 3.25 - Algoritmo para a Obtenção do Índice de Correlação Bidimensional	59
Figura 4.1 - Composição da Imagem do Mapa Acústico	62
Figura 4.2 - Marcas Idealizadas para a Obtenção do Índice de Correlação Bidimensional, (a) marca “+” e (b) marca “T”	65
Figura 4.3 - Marcas Utilizadas para a Obtenção do Índice de Correlação Bidimensional , (a) marca “+” e (b) marca “T”	65
Figura 4.4 - Gráfico Resultante do Cálculo do Índice de Correlação Bidimensional ..	66
Figura 4.5 - Comparativo entre Bandas de Frequência com Dano e sem Dano para o Sensor de Emissão Acústica	68
Figura 4.6 - Mapa Acústico Obtido pela Seleção Manual de Banda de Frequência para o Sensor de Emissão Acústica com $a_d=20\mu\text{m}$, (a) Mapa Acústico completo, (b) Detlhes da Marca “+” e (c) Detalhes da Marca (“T”)	69
Figura 4.7 - Comparativo entre Bandas de Frequência com Dano e sem Dano para o Diafragma Piezelétrico	69
Figura 4.8 - Mapa Acústico Obtido pela Seleção Manual de Banda de Frequência para o Diafragma Piezelétrico com $a_d=20\mu\text{m}$, (a) Mapa Acústico Completo, (b) Detalhes da marca “+” e (c) Detalhes da marca “T”	70
Figura 4.9 - Bandas de Frequência Filtradas e Correlação para o Sensor de Emissão Acústica	71
Figura 4.10 - Resultado do Algoritmo de Busca de Bandas de Frequência para o Sensor de Emissão Acústica.....	72
Figura 4.11 - Análise das 60 Melhores Bandas de Frequência para o Sensor de Emissão Acústica	72
Figura 4.12 - Bandas de Frequência Filtradas e Correlação para o Sensor Diafragma Piezelétrico	73
Figura 4.13 - Resultado do Algoritmo de Busca de Bandas de Frequência para o Diafragma Piezelétrico	74

Figura 4.14 - Análise das 60 Melhores Bandas de Frequência para o Diafragma Piezelétrico	75
Figura 4.15 - Mapa Acústico Obtido pela Seleção Automática de Banda de Frequência para o Diafragma Piezelétrico com $a_d=20\mu\text{m}$, (a) Mapa acústico completo, (b) Detalhes da marca “+” e (c) Detalhes da marca “T”	76
Figura 4.16 - Mapas Acústicos com a Marca "+" e Profundidade de Dressagem de $5\mu\text{m}$	77
Figura 4.17 - Mapas Acústicos com a Marca "T" e Profundidade de Dressagem de $5\mu\text{m}$	77
Figura 4.18 - Mapas Acústicos com a Marca "+" e Profundidade de Dressagem de $10\mu\text{m}$	77
Figura 4.19 - Mapas Acústicos com a Marca "T" e Profundidade de Dressagem de $10\mu\text{m}$	77
Figura 4.20 - Mapas Acústicos com a Marca "+" e Profundidade de Dressagem de $20\mu\text{m}$	78
Figura 4.21 - Mapas Acústicos com a Marca "T" e Profundidade de Dressagem de $20\mu\text{m}$	78
Figura 4.22 - Mapas Acústicos com a Marca "+" e Profundidade de Dressagem de $40\mu\text{m}$	78
Figura 4.23 - Mapas Acústicos com a Marca "T" e Profundidade de Dressagem de $40\mu\text{m}$	78
Figura 4.24 - Média e Desvio Padrão do Índice de Correlação entre Todas as Amostras	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Condições de Usinagem	35
Tabela 4.1 - Número de Pontos para o Cálculo da Estatística RMS	63
Tabela 4.2 - Resoluções Obtidas no Mapa Acústico	63
Tabela 4.3 - Resumo dos Resultados Obtidos com os Sensores	81

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBN	Nitreto de Boro Cúbico (<i>Cubic Boron Nitride</i>)
CCDM	Métrica do desvio do coeficiente de correlação (<i>Correlation coefficient deviation metric</i>)
DFT	Transformada Discreta de Fourier (<i>Discret Fourier Transform</i>)
EMI	Impedância Eletromecânica (<i>Electromechanical Impedance</i>)
IDFT	Inverso da Transformada Discreta de Fourier (<i>Inverse Discret Fourier Transform</i>)
FFT	Transformada Rápida de Fourier (<i>Fast Fourier Transform</i>)
EA	Sensor de emissão acústica (<i>Acoustic Emission</i>)
MDC	Classificador de Distância Mínima (<i>Minimal Distance Classifier</i>)
PLB	Teste da Quebra do Grafite (<i>Pencil Lead Break</i>)
PSD	Densidade Espectral de Potência (<i>Power Spectral Density</i>)
PZT	Diafragma piezelétrico (<i>lead zirconate titanate</i>)
RGB	Matriz de cores vermelho-verde-azul (<i>red-green-blue</i>)
RMS	Valor médio quadrático (<i>Root Mean Square</i>)
RMSD	Desvio da raiz média quadrática (<i>Root mean square deviation</i>).
RNA	Redes Neurais Artificiais (<i>Artificial Neural Networks</i>)
SAE	Sociedade dos Engenheiros Automotivos (<i>Society of Automotive Engineers – EUA</i>)
STFT	Transformada de Fourier de Curto Termo (<i>Short Time Fourier Transform</i>)
SHM	Monitoramento de Integridade Estrutural (<i>Structural Health Monitoring</i>)
SVM	Máquina de Vetores de Suporte (<i>Support Vector Machine</i>)
a_d	Profundidade de dressagem (μm)
b_d	Largura de atuação do dressador (mm)
C_R	Comprimento do Perímetro do Rebolo (mm)
d_s	Diâmetro Externo do Rebolo (mm)
L_R	Largura do Rebolo (mm)
n_s	Rotação do Rebolo (rpm)
S_d	Passo de dressagem (mm)
t_d	Tempo de dressagem (s)

U_d	Grau de recobrimento
v_s	Velocidade de corte do rebolo (mm/s)
V_d	Velocidade de avanço (mm/s)
v_d	Velocidade do dressador (mm/s)
W_t	Ondulação Teórica (mm)
Δ_x	Resolução no Comprimento do Mapa Acústico (mm)
Δ_y	Resolução na Largura do Mapa Acústico (mm)

CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

As empresas de manufatura enfrentam as demandas crescentes de melhora da qualidade de produto, maior variabilidade de processos, ciclos de vida mais curtos, custo reduzido e concorrência global. A escassez de operadores de equipamentos de fabricação durante a última década acirrou a pressão que essas demandas estão impondo às indústrias de manufatura atuais. Os fabricantes estão buscando cada vez mais a automação como um meio eficaz para atender a essas demandas enquanto mantêm ou aumentam sua competitividade global e reduzem sua dependência de operadores especializados. Dada a importância da usinagem para a maioria das indústrias, as máquinas e ferramentas abriram muitas vezes o caminho no desenvolvimento da tecnologia de automação (LIANG; HECKER; LANDERS, 2004).

O uso de abrasivos para moldar remonta a mais de 2.000 anos. Pedras abrasivas foram usadas para afiar facas, ferramentas e armas antigas. Desde os tempos antigos, abrasivos foram usados para cortar e moldar rochas e pedras para a construção de edifícios, como as pirâmides. Os abrasivos continuam a ser usados em aplicações cada vez mais diversificadas, e grande parte da tecnologia moderna depende da indústria de abrasivos por sua existência. Mesmo nos primeiros dias, a retificação era um processo de acabamento aplicado a produtos que abordavam a etapa mais valiosa de sua produção (ROWE, 2013).

A usinagem com abrasivos é um processo amplamente utilizado para produzir formas complexas em componentes e para fornecer tolerâncias precisas que são necessárias especialmente para a fabricação de componentes de engenharia (JACKSON; DAVIM, 2011).

A retificação é um processo de manufatura situado na parte final da cadeia de usinagem, consistindo em uma operação de remoção de material da superfície da peça usinada, por meio da utilização de uma ferramenta de corte denominada rebolo (ALEXANDRE et al., 2018). Esse processo possui muitos desafios devido a sua operação complexa e suas características únicas. Os problemas mais comuns são: danos térmicos na peça, acabamento com superfícies rugosas, vibrações na máquina, desgaste rápido da ferramenta (rebolo), entre outros (MARINESCU et al., 2007).

Os danos causados nas peças durante o processo de retificação acarretam alto custo e prejuízo a manufatura devido ao valor agregado que as peças possuem. Os danos mais comuns no processo de retificação são a queima, trincas e tensões residuais (RIBEIRO et al., 2015). Tais danos são, em sua grande maioria, relacionados a problemas com a ferramenta de corte

(rebolo). Durante o processo de retificação, o rebolo perde suas características de afiação e topografia da sua superfície de corte devido ao desgaste da camada abrasiva, sendo necessário a realização de uma operação de dressagem. A dressagem é uma operação de afiação concebida para gerar uma topografia na superfície de corte do rebolo (ALEXANDRE et al., 2018; JACKSON et al., 2007; LOPES et al., 2017; MOIA et al., 2015).

Uma das formas de garantir a qualidade das peças é a realização do monitoramento da ferramenta de corte (rebolo). Vários trabalhos foram desenvolvidos visando monitorar a ferramenta de corte e obter o momento ótimo de realização da operação de dressagem (ALEXANDRE et al., 2018; MOIA et al., 2015; WARREN LIAO, 2010; YANG; YU, 2012).

Os sensores de emissão acústica vêm sendo utilizados no monitoramento do processo de retificação e da ferramenta de corte há mais de 10 anos. Por outro lado, o uso de diafragmas piezelétricos no monitoramento do processo de retificação ainda é muito recente. Poucos trabalhos na literatura são encontrados relacionados a utilização destes sensores na área de retificação (BATISTA DA SILVA et al., 2018; MARCHI et al., 2015; RIBEIRO et al., 2017; SILVA DE FREITAS; GUIMARÃES BAPTISTA, 2016).

O uso de mapa acústico a partir de sensores de emissão acústica comerciais aplicado ao monitoramento do processo de retificação foi inicialmente idealizado por Oliveira & Dornfeld (2001). Outros trabalhos utilizaram a mesma técnica proposta para visualizar mapas acústicos em diversos sistemas de monitoramento no processo de retificação (DA SILVA et al., 2016; DENKENA et al., 2016; HASHIMOTO et al., 2012; WARREN LIAO, 2010; YANG; YU, 2012).

O presente trabalho contribui para a obtenção de mapas acústicos no monitoramento da ferramenta de corte (rebolo) utilizando como sensor, o diafragma piezelétrico. Este estudo contribui de forma inédita apresentando uma alternativa aos sensores de emissão acústica comerciais, os quais os custos envolvidos são maiores. Além disso, foi realizado um estudo comparativo entre os sensores e condições de dressagem, estabelecendo bandas de frequências que melhores representassem a caracterização de falhas na visualização da imagem do mapa acústico.

1.2 OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho foi propor a construção de mapas acústicos baseada na utilização de diafragma piezelétrico no monitoramento da operação de dressagem. Durante as operações de dressagem, por meio da coleta de sinais obtidos pelo sensor de emissão acústica

e diafragma piezelétrico foi possível estudar mapas acústicos na identificação de falhas superficiais do rebolo. Foram avaliadas bandas de frequências de forma manual e automática utilizando a Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform* – FFT) e filtros digitais de sinais com o objetivo de obter mapas acústicos com maior nitidez, qualidade de imagem e compará-los entre si.

1.3 PUBLICAÇÕES OBTIDAS E SUBMETIDAS

A seguir são apresentados os trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Aquisição de Dados e Processamento de Sinais (LADAPS) da UNESP – Bauru, em que houve participação do autor desta tese durante seu período de Doutorado.

- ❖ **DOTTO, FÁBIO ROMANO LOFRANO**; AGUIAR, PAULO ROBERTO; ALEXANDRE, FELIPE APARECIDO; WENDERSON NASCIMENTO; BIANCHI, EDUARDO CARLOS. In-Dressing Acoustic Map by Low-cost Piezoelectric Transducer. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, 2019 (ARTIGO SUBMETIDO).
- ❖ **DOTTO, FÁBIO ROMANO LOFRANO**; AGUIAR, PAULO ROBERTO; ALEXANDRE, FELIPE APARECIDO; SIMÕES, LEONARDO; LOPES, WENDERSON NASCIMENTO; D’ADDONA, DORIANA M.; BIANCHI, EDUARDO CARLOS Acoustic image-based damage identification of oxide aluminum grinding wheel during the dressing operation. PROCEEDIA CIRP (Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering), v.79, p. 298-302, 2019.
- ❖ ALEXANDRE, FELIPE APARECIDO; LOPES, WENDERSON NASCIMENTO; **LOFRANO DOTTO, FÁBIO ROMANO**; FERREIRA, FÁBIO ISAAC ; AGUIAR, PAULO ROBERTO ; BIANCHI, EDUARDO CARLOS ; LOPES, JOSÉ CLÁUDIO. Tool condition monitoring of aluminum oxide grinding wheel using AE and fuzzy model. INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, v. 1, p. 1-13, 2018.
- ❖ ALEXANDRE, FELIPE; LOPES, WENDERSON; FERREIRA, FÁBIO; **LOFRANO DOTTO, FÁBIO ROMANO**; AGUIAR, PAULO; BIANCHI, EDUARDO. Chatter

vibration monitoring in the surface grinding process through digital signal processing of acceleration signal. IN: 4TH INTERNATIONAL ELECTRONIC CONFERENCE ON SENSORS AND APPLICATIONS, 2017, Sciforum.net. Proceedings of 4th International Electronic Conference on Sensors and Applications. Basel: MDPI, 2017. p. 4927.

- ❖ THOMAZELLA, ROGÉRIO; LOPES, WENDERSON; ALEXANDRE, FELIPE; **LOFRANO DOTTO, FÁBIO ROMANO**; RODRIGUES, RODRIGO; AGUIAR, PAULO ROBERTO; PONTES JÚNIOR, BENTO RODRIGUES; BIANCHI, EDUARDO CARLOS; VIERIA, MARTIN ANTONIO. Detecção do fenômeno de chatter no processo de retificação por meio de análise tempo-frequência. IN: X CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2018.

Capítulo 5 – CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvido um estudo inédito para elaboração de mapas acústicos utilizando como sensor um diafragma piezelétrico de baixo custo, durante operações de dressagem, bem como a determinação de bandas de frequência para filtragem dos sinais de emissão acústica que resultem em mapas acústicos com melhor nitidez e qualidade de imagem da falha.

Por meio de duas marcas (sinal “+” e “T”) usinadas na superfície do rebolo foi possível realizar operações de dressagem com dressador de ponta única e profundidades de 5 μm , 10 μm , 20 μm e 40 μm , coletando dados por meio de um sensor de emissão acústica comercial e por um diafragma piezelétrico. Também foi utilizado um *encoder* para captar o sinal da posição angular do rebolo, o que possibilitou obter o sincronismo do sinal de emissão acústica a cada revolução do rebolo.

Baseado em uma análise espectral utilizando Transformada Rápida de Fourier foi possível avaliar o comportamento dos espectros de frequência com e sem dano (marcas) de forma manual e verificou-se que não é o possível obter melhorias na qualidade da imagem do mapa acústico por meio de uma comparação manual (aplicando a FFT e analisando os espectros).

A partir de uma técnica de busca de bandas de frequência, especialmente desenvolvida neste trabalho, os parâmetros dos filtros passa-banda *Butterworth* de quinta ordem foram ajustados automaticamente, onde obteve-se a melhor banda de frequência para o sensor de emissão acústica comercial entre 302 kHz e 402 kHz e para o diafragma piezelétrico entre 49 kHz e 56 kHz. Foi possível identificar também que o sistema de emissão acústica comercial possuía um filtro integrado que acabou refletindo em uma seleção de banda frequências maiores.

Mapas acústicos contendo as marcas foram gerados para 4 profundidades de dressagem e 3 repetições cada, tanto para os sinais obtidos pelo sensor de emissão acústica quanto para o diafragma piezelétrico. Essas condições foram também avaliadas com e sem a presença de filtragem nas bandas selecionadas, totalizando 48 mapas.

A partir dos mapas acústicos foi possível calcular um índice de correlação bidimensional para cada um deles, considerando um padrão de referência das marcas previamente ajustado. Este índice de correlação possibilitou uma comparação entre os sensores utilizados, bandas de frequência e profundidades de dressagem.

Os resultados apontam que se não for utilizado nenhum processo de filtragem adicional na elaboração do mapa acústico, o sensor de emissão acústica comercial é o mais indicado, pois apresentou melhores resultados para todas as profundidades de dressagem avaliadas. Por outro

lado, a partir da utilização filtros nas bandas selecionadas, foi possível avaliar que o diafragma piezelétrico apresentou melhores resultados para as profundidades de dressagem de 5 μm e 10 μm .

Para as profundidades de dressagem de 20 μm e 40 μm , tanto o sensor comercial quanto o diafragma piezelétrico apresentaram bons resultados, sendo que para 20 μm o diafragma piezelétrico apresentou uma média maior quando comparado ao sensor de emissão acústica comercial. Por outro lado, o desvio padrão do índice de correlação bidimensional obtido com o sensor de emissão acústica foi maior, o que significa que em uma das passadas de dressagem houve resultados melhores do que os obtidos pelo diafragma piezelétrico para 20 μm e 40 μm .

Finalmente, esse estudo demonstrou a viabilidade do uso do diafragma piezelétrico para a elaboração de mapas acústicos durante o processo de dressagem, sendo esses sensores menos dispendiosos quando comparado com os sensores de emissão acústica comerciais, demonstrando a viabilidade técnica de seu uso no ambiente industrial. Além disso, por se tratar de um sensor de baixo custo, a solução apresentada pode ser aplicada em processos industriais mais simples, permitindo a visualização de mapas acústicos em setores onde o custo final dos equipamentos de monitoramento poderia se tornar impeditivo.

5.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

- ❖ Incorporar outras técnicas de processamento de sinais para melhorar a qualidade do mapa acústico;
- ❖ Explorar a composição de mais de uma banda de frequência para melhorar a resolução dos mapas;
- ❖ Estudar outras falhas por meio do mapa acústico provenientes da ferramenta de corte (rebolo) tais como folgas excessivas, desbalanceamento, vibrações não desejadas, *chatter*, quebra do dressador, dressagem incorreta, danos no rebolo, etc.
- ❖ Aplicação do sensor composto pelo diafragma piezelétrico para monitorar o processo de retificação usando mapas acústicos;

REFERÊNCIAS

AGARWAL, S. Optimizing machining parameters to combine high productivity with high surface integrity in grinding silicon carbide ceramics. **Ceramics International**, v. 42, n. 5, p. 6244–6262, abr. 2016.

AGUIAR, P. R. et al. **Neural network approach for surface roughness prediction in surface grinding**. The IASTED International Conference on Artificial Intelligence and Applications (AIA 2007). **Anais...2007**

AGUIAR, P. R. P.; BIANCHI, E. C. E.; OLIVEIRA, J. J. F. G. A method for burning detection in grinding process using acoustic emission and effective electrical power. **CIRP Journal of Manufacturing Systems**, v. 31, n. 3, p. 253–257, 2002.

AGUIAR, P. R. R. et al. In-process grinding monitoring by acoustic emission. **2004 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing**, v. 5, p. 1–4, 2004.

ALEXANDRE, F. A. et al. Tool condition monitoring of aluminum oxide grinding wheel using AE and fuzzy model. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 1, p. 1–13, jan. 2018.

ALMEIDA, V. A. D. DE; BAPTISTA, F. G.; AGUIAR, P. R. DE. Piezoelectric transducers assessed by the pencil lead break for impedance-based structural health monitoring. **IEEE Sensors Journal**, v. 15, n. 2, p. 693–702, 2015.

ALMEIDA, V. et al. Experimental Analysis of Piezoelectric Transducers for Impedance-Based Structural Health Monitoring. **Proceedings of International Electronic Conference on Sensors and Applications**, p. f004, 2014.

ARJUN, V. et al. Optimisation of pulsed eddy current probe for detection of sub-surface defects in stainless steel plates. **Sensors and Actuators, A: Physical**, v. 226, p. 69–75, 2015.

ARUN, A. et al. Tool Condition Monitoring Of Cylindrical Grinding Process Using Acoustic Emission Sensor. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 5, p. 11888–11899, 2018.

AXINTE, D. A. et al. Process monitoring to assist the workpiece surface quality in machining. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 44, n. 10, p. 1091–1108, ago. 2004.

BAPTISTA, F. G. et al. An experimental study on the effect of temperature on piezoelectric sensors for impedance-based structural health monitoring. **Sensors (Switzerland)**, v. 14, n. 1, p. 1208–1227, 2014.

BATISTA DA SILVA, R. et al. Electromechanical impedance (EMI) technique as

alternative to monitor workpiece surface damages after the grinding operation. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 98, n. 9–12, p. 2429–2438, 2018.

BENNETT, R. T. **Acoustic Emission in Grinding**. [s.l.] University of Connecticut, 1994.

BIANCHI, E. C. et al. Behavior Analysis of Conventional Grinding Wheel in Brittle and Ductile Steels Machining. **J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.**, v. XIX, n. 3, p. 410–425, 1997.

BIANCHI, E. C. et al. The evaluation of the bond resin and vitrified and abrasive grain CBN and alumina influence in the grinding wheel topography characteristics, by the study of the grinding wheel sharpness. **Cerâmica**, v. 57, n. 344, p. 431–437, dez. 2011.

BLACK, J. T.; KOHSER, R. A. **DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing**. 10. ed. River Street, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2008.

BRINKSMEIER, E.; WERNER, F. Monitoring of Grinding Wheel Wear. **CIRP Annals**, v. 41, n. 1, p. 373–376, 1992.

CAI, R.; ROWE, W. B. Assessment of vitrified CBN wheels for precision grinding. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 44, n. 12–13, p. 1391–1402, out. 2004.

CAMERON, A.; BAUER, R.; WARKENTIN, A. An investigation of the effects of wheel-cleaning parameters in creep-feed grinding. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 50, n. 1, p. 126–130, jan. 2010.

CATAI, R. E. **Optimization of the coolant/lubrication conditions in the cylindrical plunge grinding process**Bauru, 2004.

CHANG, J. I. et al. Recycling oil and steel from grinding swarf. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 49, n. 2, p. 191–201, dez. 2006.

CHEN, X.; LIMCHIMCHOL, T. Monitoring grinding wheel redress-life using support vector machines. **International Journal of Automation and Computing**, v. 3, n. 1, p. 56–62, jan. 2006.

CONCEICAO JUNIOR, P. O. et al. The Correlation of Vibration Signal Features in Grinding of Advanced Ceramics. **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, n. 9, p. 4006–4012, set. 2016.

DA CONCEIÇÃO JUNIOR, P. O. et al. Time-domain Analysis Based on the Electromechanical Impedance Method for Monitoring of the Dressing Operation. **Procedia CIRP**, v. 67, p. 319–324, 2018.

DA SILVA, E. J. et al. Grinding process for profiled texturing. **CIRP Annals -**

Manufacturing Technology, v. 65, n. 1, p. 337–340, 2016.

DE OLIVEIRA, J. F. G. et al. Grinding Process Dominance by Means of the Dressing Operation. In: **Proceedings of the Twenty-Ninth International Matador Conference**. London: Macmillan Education UK, 1992. p. 547–550.

DE OLIVEIRA, J. F. G.; DORNFELD, D. A. Application of AE contact sensing in reliable grinding monitoring. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 50, n. 1, p. 217–220, 2001.

DENKENA, B. et al. Enhanced grinding performance by means of patterned grinding wheels. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 77, n. 9–12, p. 1935–1941, 2015.

DENKENA, B. et al. Design of bronze-bonded grinding wheel properties. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 65, n. 1, p. 333–336, 2016.

DI ILIO, A.; PAOLETTI, A. A comparison between conventional abrasives and superabrasives in grinding of SiC-aluminium composites. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 40, n. 2, p. 173–184, jan. 2000.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 7. ed. São Paulo, SP: Artiber Editora Ltda, 2010.

DIODATI, P.; MARCHESONI, F.; PIAZZA, S. Acoustic emission from volcanic rocks: An example of self-organized criticality. **Physical Review Letters**, v. 67, n. 17, p. 2239–2243, out. 1991.

DORNFELD, D. A. et al. Analysis of tool and workpiece interaction in diamond turning using graphical analysis of acoustic emission. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 52, n. 1, p. 479–482, 2003.

DORNFELD, D. A.; LEE, Y.; CHANG, A. Monitoring of Ultraprecision Machining Processes. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 21, n. 8, p. 571–578, 1 jun. 2003.

DOTTO, F. R. L. et al. Automatic system for thermal damage detection in manufacturing process with internet monitoring. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 28, n. 2, p. 153–160, 2006.

DOTTO, F. R. L. et al. Methodology for automatic selection of passes in surface grinding. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 29, n. 1, p. 7–13, mar. 2007.

DOTTO, F. R. L. et al. Acoustic image-based damage identification of oxide aluminum grinding wheel during the dressing operation. **Procedia CIRP**, v. 79, p. 298–302, 2019.

FATHIMA, K. et al. A study on wear mechanism and wear reduction strategies in grinding wheels used for ELID grinding. **Wear**, v. 254, n. 12, p. 1247–1255, nov. 2003.

FIOCCHI, A. A. et al. Investigation on Surface Finishing of Components Ground with Lapping Kinematics: Lapgrinding Process. **Advanced Materials Research**, v. 223, p. 879–887, abr. 2011.

FU, G. **Inspection and monitoring techniques for bridges and civil structures**. 1. ed. Boca Raton: [s.n.].

GERMÁN-SALLÓ, Z.; STRNAD, G. Signal processing methods in fault detection in manufacturing systems. **Procedia Manufacturing**, v. 22, p. 613–620, 2018.

GROSSE, C.; OHTSU, M. **Acoustic Emission Testing**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008.

HASHIMOTO, F. et al. Advances in centerless grinding technology. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 61, n. 2, p. 747–770, 2012.

HASSUI, A. et al. Experimental evaluation on grinding wheel wear through vibration and acoustic emission. **Wear**, v. 217, n. 1, p. 7–14, 1998.

JACKSON, M. J. et al. Laser cleaning and dressing of vitrified grinding wheels. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 185, n. 1–3, p. 17–23, abr. 2007.

JACKSON, M. J.; DAVIM, P. J. **Machining with Abrasives**. Boston, MA: Springer US, 2011.

JACKSON, M. J.; MILLS, B. Microscale wear of vitrified abrasive materials. **Journal of Materials Science**, v. 39, n. 6, p. 2131–2143, mar. 2004.

JUNIOR, P.; D'ADDONA, D. M.; AGUIAR, P. R. Dressing Tool Condition Monitoring through Impedance-Based Sensors: Part 1—PZT Diaphragm Transducer Response and EMI Sensing Technique. **Sensors**, v. 18, n. 12, p. 4455, 16 dez. 2018.

JUNIOR, P. O. C. et al. Feature extraction using frequency spectrum and time domain analysis of vibration signals to monitoring advanced ceramic in grinding process. **IET Science, Measurement & Technology**, v. 13, n. 1, p. 1–8, 1 jan. 2019.

KANNAN, K.; ARUNACHALAM, N. Grinding wheel redress life estimation using force and surface texture analysis. **Procedia CIRP**, v. 72, p. 1439–1444, 2018.

KAPHLE, M. **Analysis of acoustic emission data for accurate damage assessment for structural health monitoring applications**. [s.l.] Queensland University of Technology, 2012.

KLOCKE, F. et al. Modelling of the Grinding Wheel Structure Depending on the Volumetric Composition. **Procedia CIRP**, v. 46, p. 276–280, 2016.

KUNDRÁK, J. et al. Diamond grinding wheels production study with the use of the finite element method. **Journal of Advanced Research**, v. 7, n. 6, p. 1057–1064, nov. 2016.

KWAK, J. S.; HA, M. K. Neural network approach for diagnosis of grinding operation by acoustic emission and power signals. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 147, n. 1, p. 65–71, 2004.

LEE, D. E. et al. Precision manufacturing process monitoring with acoustic emission. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 46, n. 2, p. 176–188, fev. 2006.

LEZANSKI, P. An intelligent system for grinding wheel condition monitoring. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 109, n. 3, p. 258–263, fev. 2001.

LI, F.; PENG, H.; MENG, G. Quantitative damage image construction in plate structures using a circular PZT array and lamb waves. **Sensors and Actuators, A: Physical**, v. 214, p. 66–73, 2014.

LI, H. N. et al. Detailed modeling of cutting forces in grinding process considering variable stages of grain-workpiece micro interactions. **International Journal of Mechanical Sciences**, v. 126, p. 319–339, jun. 2017.

LIANG, S. Y.; HECKER, R. L.; LANDERS, R. G. Machining Process Monitoring and Control: The State-of-the-Art. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 126, n. 2, p. 297, 2004.

LIAO, T. W. et al. Grinding wheel condition monitoring with boosted minimum distance classifiers. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 22, n. 1, p. 217–232, 2008.

LIU, C.-S.; LI, Y.-A. Evaluation of grinding wheel loading phenomena by using acoustic emission signals. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 99, n. 5–8, p. 1109–1117, 16 nov. 2018.

LOPES, W. N. et al. Digital Signal Processing of Acoustic Emission Signals Using Power Spectral Density and Counts Statistic Applied to Single-Point Dressing Operation. **IET Science, Measurement & Technology**, p. 15, 2017.

LUNT, A. J. G.; KORSUNSKY, A. M. A review of micro-scale focused ion beam milling and digital image correlation analysis for residual stress evaluation and error estimation. **Surface and Coatings Technology**, v. 283, p. 373–388, 2015.

MADANCHI, N.; WINTER, M.; HERRMANN, C. Cutting Fluid Drag-out and Exhaust Air in Grinding Processes: Influence on the Eco-efficiency. **Procedia CIRP**, v. 29, p. 329–334, 2015.

MALKIN, S.; GUO, C. **Grinding Thecnology:Theory and Applications of Machining with Abrasives**. 2^a ed. New York: Society of Manufacturing Engineers, 2008.

MANOJKUMAR, K.; GHOSH, A. Assessment of cooling-lubrication and wettability characteristics of nano-engineered sunflower oil as cutting fluid and its impact on SQCL grinding performance. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 237, p. 55–64, nov. 2016.

MARCHI, M. et al. Grinding process monitoring based on electromechanical impedance measurements. **Measurement Science and Technology**, v. 26, n. 4, p. 45601, 2015.

MARINESCU, I. I. et al. **Handbook of machining with grinding wheels**. 1. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2007.

MARTINS, C. H. R. et al. Tool Condition Monitoring of Single-Point Dresser Using Acoustic Emission and Neural Networks Models. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 63, n. 3, p. 667–679, mar. 2014.

MOIA, D. F. G. et al. Tool condition monitoring of aluminum oxide grinding wheel in dressing operation using acoustic emission and neural networks. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 37, n. 2, p. 627–640, mar. 2015.

NAKAI, M. E. et al. Evaluation of neural models applied to the estimation of tool wear in the grinding of advanced ceramics. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 20, p. 7026–7035, 2015.

NASCIMENTO LOPES, W. et al. Digital signal processing of acoustic emission signals using power spectral density and counts statistic applied to single-point dressing operation. **IET Science, Measurement & Technology**, v. 11, n. 5, p. 631–636, 1 ago. 2017.

OLIVEIRA, D. DE J. et al. Improving minimum quantity lubrication in CBN grinding using compressed air wheel cleaning. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 212, n. 12, p. 2559–2568, dez. 2012.

OLIVEIRA, J. F. G.; DORNFELD, D. A. Dimensional characterization of grinding wheel through acoustic emission. **CIRP, 43 Cirp Annals – Manufacturing Technology**, v. 43, n. 2, p. 291–294., 1994.

OLIVEIRA, J. F. G.; DORNFELD, D. A. Application of AE Contact Sensing in Reliable Grinding Monitoring. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 50, n. 1, p. 217–220, 2001.

OLIVEIRA, J. F. G.; FRANÇA, T. V.; WANG, J. P. Experimental analysis of wheel/workpiece dynamic interactions in grinding. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 57, n. 1, p. 329–332, 2008.

PALMER, J. et al. An experimental study of the effects of dressing parameters on the topography of grinding wheels during roller dressing. **Journal of Manufacturing Processes**,

v. 31, p. 348–355, jan. 2018.

PAN, B. et al. Two-dimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement: A review. **Measurement Science and Technology**, v. 20, n. 6, 2009.

PAN, B.; XIE, H.; WANG, Z. Equivalence of digital image correlation criteria for pattern matching. **Applied Optics**, v. 49, n. 28, p. 5501, 2010.

PATIL, S. S.; BHALERAO, Y. J. **Ranking of vitrified grinding wheel parameters by using analytical hierarchical process (AHP) for surface roughness of work piece in grinding operation**. 2017 International Conference on Advances in Mechanical, Industrial, Automation and Management Systems (AMIAMS). **Anais...IEEE**, fev. 2017

PATNAIK DURGUMAHANTI, U. S.; SINGH, V.; VENKATESWARA RAO, P. A New Model for Grinding Force Prediction and Analysis. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 50, n. 3, p. 231–240, mar. 2010.

PEREIRA, W. X.; DINIZ, A. E.; HASSUI, A. Comparing different plunge cylindrical grinding cycles based on workpiece roughness and process vibration. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 31, n. 2, jun. 2009.

QI, J. et al. **Research on the adaptive adjustment of the parameters in grinding process**. 2016 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA). **Anais...IEEE**, ago. 2016

RIBEIRO, D. M. S. et al. Low-Cost Piezoelectric Transducer Applied To Workpiece Surface Monitoring in Grinding Process. **ABC International Congress of Mechanical Engineering - COBEM**, v. 23, n. 1–10, 2015.

RIBEIRO, D. M. S. et al. Spectra Measurements Using Piezoelectric Diaphragms to Detect Burn in Grinding Process. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 66, n. 11, p. 3052–3063, nov. 2017.

ROWE, W. B. **Principles of modern grinding technology**. 2. ed. Burlington: William Andrew, 2013.

ROWE, W. B. Grinding Wheel Dressing. In: **Principles of Modern Grinding Technology**. [s.l.] Elsevier, 2014. p. 63–82.

SAEED V. VASEGHI. **Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, Inc, 2000.

SILVA DE FREITAS, E.; GUIMARÃES BAPTISTA, F. Experimental analysis of the feasibility of low-cost piezoelectric diaphragms in impedance-based SHM applications. **Sensors and Actuators, A: Physical**, v. 238, p. 220–228, 2016.

SILVA, E. J. et al. Manufacturing of structured surfaces via grinding. **Journal of**

Materials Processing Technology, v. 243, p. 170–183, maio 2017.

SINOT, O.; CHEVRIER, P.; PADILLA, P. Experimental simulation of the efficiency of high speed grinding wheel cleaning. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 46, n. 2, p. 170–175, fev. 2006.

SUYAMA, D. I.; DINIZ, A. E.; PEDERIVA, R. Tool vibration in internal turning of hardened steel using cBN tool. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 88, n. 9–12, p. 2485–2495, 2 fev. 2017.

SYSTEME, V. **Acoustic Emission Sensors**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.atgndt.com/wp-content/uploads/2016/01/vallen-ae-sensors.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

TAUSENDFREUND, A. et al. Investigations on Material Loads during Grinding by Speckle Photography. **Journal of Manufacturing and Materials Processing**, v. 2, n. 4, p. 71, 2018.

TAWAKOLI, T.; WESTKAEMPER, E.; RABIEY, M. Dry grinding by special conditioning. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 33, n. 3–4, p. 419–424, 31 jul. 2007.

TIAN, Y. B. et al. Development of portable power monitoring system and grinding analytical tool. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 27, p. 188–197, jun. 2017.

VARGHESE, B. et al. Development of a Sensor-Integrated “Intelligent” Grinding Wheel for In-Process Monitoring. **CIRP Annals**, v. 49, n. 1, p. 231–234, 2000.

WANG, Y. et al. Experimental evaluation of the lubrication properties of the wheel / workpiece interface in MQL grinding with different nanofluids. **Tribology International**, v. 99, p. 198–210, 2016.

WARREN LIAO, T. et al. A wavelet-based methodology for grinding wheel condition monitoring. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 47, n. 3–4, p. 580–592, mar. 2007.

WARREN LIAO, T. Feature extraction and selection from acoustic emission signals with an application in grinding wheel condition monitoring. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 23, n. 1, p. 74–84, 2010.

WEBSTER, J.; DONG, W. P.; LINDSAY, R. Raw Acoustic Emission Signal Analysis of Grinding Process. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 45, n. 1, p. 335–340, 1996.

WEBSTER, J.; MARINESCU, I.; BENNETT, R. Acoustic emission for processes control and monitoring of surface integrity during grinding. **CIRP Annals - Manufacturing**

Technology, v. 43, n. 1, p. 299–304, 1994.

WEBSTER, J.; TRICARD, M. Innovations in Abrasive Products for Precision Grinding. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 53, n. 2, p. 597–617, 2004.

WEGENER, K. et al. Conditioning and monitoring of grinding wheels. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 60, n. 2, p. 757–777, 2011.

WEINGAERTNER, W. L.; BOARON, A. A Quick-Test Method to Determine the Grinding Wheel Topography Based on Acoustic Emission. **Advanced Materials Research**, v. 325, p. 282–286, 2011.

YANG, Z.; YU, Z. Grinding wheel wear monitoring based on wavelet analysis and support vector machine. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 62, n. 1–4, p. 107–121, set. 2012.

YANG, Z.; YU, Z. Experimental study of burn classification and prediction using indirect method in surface grinding of AISI 1045 steel. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 68, n. 9–12, p. 2439–2449, 2013.

YOO, J.-C.; HAN, T. H. Fast Normalized Cross-Correlation. **Circuits, Systems and Signal Processing**, v. 28, n. 6, p. 819–843, 22 dez. 2009.