



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE BAURU

**SISTEMA DE DETECÇÃO AUTOMÁTICA ON-
LINE DE DANOS TÉRMICOS NO PROCESSO
DE RETIFICAÇÃO COM MONITORAMENTO
VIA INTERNET**

FÁBIO ROMANO LOFRANO DOTTO

BAURU – SP
Abril / 2004



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE BAURU

**SISTEMA DE DETECÇÃO AUTOMÁTICA ON-
LINE DE DANOS TÉRMICOS NO PROCESSO
DE RETIFICAÇÃO COM MONITORAMENTO
VIA INTERNET**

FÁBIO ROMANO LOFRANO DOTTO

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto de Aguiar

Co-Orientador: Prof. Dr. Eduardo Carlos Bianchi

**Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da
UNESP - Campus de Bauru, para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia Industrial.**

BAURU – SP
Abril / 2004

Dedico este trabalho com carinho e estima à minha futura esposa Karla pelo constante incentivo e compreensão durante as pesquisas, estudos e elaboração deste trabalho. Dedico também aos meus pais Angelo e Lucinda pelos esforços para me oferecer um bom estudo.

Agradecimentos

Este trabalho teve a colaboração de diversas pessoas e instituições. Elencar todos os nomes e contribuições é uma tarefa árdua, havendo a possibilidade de deixar alguém sem o devido reconhecimento expresso nessas linhas. Desde já me desculpo por alguma omissão. Sendo dever de ofício e tradição, atrevo-me a tentar.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Roberto de Aguiar pelos seus ensinamentos sobre retificação e processamento de sinais, pelas sugestões no decorrer do desenvolvimento deste trabalho e principalmente pelas lições de vida.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Eduardo Carlos Bianchi pelas incontáveis sugestões e contribuições para este trabalho.

Ao amigo Prof. Dr. João Fernando Gomes de Oliveira pelas importantes contribuições que determinaram o rumo deste trabalho.

Ao amigo Eng. Landry Pansanato pela ajuda na realização dos ensaios laboratoriais, sugestões e apoio para a realização deste trabalho

Aos amigos Prof. Dr. José Alfredo Covolan Ulson, MSc. Eng. Antonio Vanderlei Ortega, MSc. Eng. Rogério Andrade Flauzino, Eng. Rogério Thomazella e Eng. Maurício Khenafes cujas contribuições estenderam à parte técnica e pelas ajudas e sugestões na elaboração desse trabalho.

Aos bolsistas do Laboratório de Aquisição de Dados e Processamento de Sinais - LADAPS, Ricardo Robles Leite, Danilo Hernane Spatti e Patrik Nascimento Lançoni, cujo espírito empreendedor auxiliaram a superar dificuldades no decorrer da pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, pela minha aceitação como pesquisador e pelos recursos financeiros que

proporcionaram o pagamento de despesas em um dos congressos onde esse trabalho foi apresentado, propagando o programa à comunidade científica.

Meus agradecimentos também, e de forma geral, à UNESP que me acolheu como um de seus filhos desde a graduação. À FAPESP por ter me concedido bolsa de pesquisa para o desenvolvimento de meu mestrado (processo nº 01/11353-4).

Quem é firme nos seus propósitos molda o mundo a seu gosto.

Goethe

O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano.

Isaac Newton

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	13
RESUMO	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	16
CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1. INTRODUÇÃO.....	19
2.2. PRINCIPAIS VARIÁVEIS E PARÂMETROS ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO DO TIPO TANGENCIAL PLANA	20
2.2.1. <i>Comportamento da Profundidade de Corte</i>	21
2.2.2. <i>Comportamento da Velocidade de Corte</i>	22
2.2.3. <i>Comportamento da Velocidade da Peça</i>	22
2.2.4. <i>Espessura Equivalente de Corte</i>	23
2.2.5. <i>Relação G</i>	24
2.3. CONCEITOS DE RETIFICAÇÃO	25
2.4. CONCEITO DE RETIFICAÇÃO INTELIGENTE	27
2.5. OPERAÇÃO DE DRESSAGEM	27
2.5.1. <i>Ferramentas de Dressagem</i>	29
2.5.2. <i>Influência da Dressagem no Processo de Retificação</i>	30
2.5.3. <i>Grau de Recobrimento (U_d)</i>	31
2.6. INTEGRIDADE SUPERFICIAL DA PEÇA DE TRABALHO	32
2.7. MONITORAMENTO E CONTROLE DO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO.....	33
2.7.1. <i>Introdução</i>	33
2.7.2. <i>Sensores</i>	34
2.7.3. <i>Processamento Digital de Sinais</i>	36
2.7.3.1. <i>Introdução</i>	36
2.7.3.2. <i>Aspectos Históricos do Processamento Digital de Sinais</i>	37
2.7.3.3. <i>Processamento Digital de Sinais no Processo de Retificação</i>	40
2.8. PARÂMETROS PARA ANÁLISE DA QUEIMA	44
2.8.1. <i>Parâmetro DPO</i>	44

2.8.2. <i>Parâmetro FKS</i>	44
2.9. CONTROLE DA QUEIMA NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO UTILIZANDO SINAIS DE EMISSÃO ACÚSTICA	46
2.10. ACESSO REMOTO USANDO REDES DE COMPUTADORES.....	50
2.11. APLICAÇÕES CLIENTE-SERVIDOR EM TCP/IP	53
2.12. INTERNET EM SISTEMAS DE MANUFATURA	54
CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS.....	55
3.1. INTRODUÇÃO.....	55
3.2. SOFTWARE DESENVOLVIDO	55
3.3. DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE PASSADAS DO REBOLO.....	58
3.3.1 <i>Detecção Automática de Passadas nos Sinais de Potência Elétrica</i>	58
3.3.2 <i>Detecção Automática de Passadas nos Sinais de Emissão Acústica</i>	64
3.4. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DAS ROTINAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS.....	70
3.5. ROTINAS COMPUTACIONAIS PARA ACESSO REMOTO NO VISUAL BASIC	76
3.6. PROTOCOLO PROPRIETÁRIO DESENVOLVIDO NO VISUAL BASIC	80
3.7. METODOLOGIA DE ENSAIO COM O RUGOSÍMETRO	82
3.8. SOFTWARE PARA QUANTIFICAÇÃO VISUAL DA QUEIMA NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO	84
3.9. BANCO DE ENSAIOS	88
3.9.1. <i>Montagem do Banco de Ensaios</i>	92
3.9.2. <i>Balanceamento do Rebolo</i>	93
3.9.3. <i>Operação de Dressagem</i>	95
3.9.4. <i>Determinação da Velocidade de Deslocamento Longitudinal da Mesa (V_w) e da Velocidade de Corte (V_s)</i>	96
3.9.6. <i>Operação de Usinagem</i>	97
CAPÍTULO 4. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES	98
4.1. PROBLEMAS NA AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS EM TEMPO REAL	98
4.2. NOVOS PARÂMETROS DE QUEIMA NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO TANGENCIAL PLANA ...	100
4.2.1. <i>Parâmetro DPKS</i>	101
4.2.2. <i>Parâmetro DAREA</i>	102
4.2.3. <i>Parâmetro DIFP</i>	103
4.3. ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE QUEIMA	104
4.3.1. <i>Resultados Obtidos com o Aço ABNT 1045</i>	105
4.3.2. <i>Resultados Obtidos com o Aço VC 131</i>	126
CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES	146
5.1. CONCLUSÕES GERAIS.....	146

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	147
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148
ANEXO I – MANUAL DE OPERAÇÃO DO SOFTWARE	154
ANEXO II – FILTROS DIGITAIS “INTRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO MATEMÁTICO”	210

Lista de Figuras

<i>Figura 1 – Variáveis de entrada/saída para máquina e processos de retificação (adaptado de KING & HAHN, 1986).</i>	21
<i>Figura 2 – Influência do tempo de contato na força tangencial de corte em um grão abrasivo (F_{t_g}) (AGUIAR, 1997)</i>	23
<i>Figura 3 – Espessura de corte equivalente para uma operação tangencial plana do tipo pendular (AGUIAR, 1997)</i>	24
<i>Figura 4 – Esquema da superfície de retificação superficial (KING & HAHN, 1986).</i>	26
<i>Figura 5 – Esquema do processo de dressagem (adaptado de BIANCHI, 1996).</i>	31
<i>Figura 6 – Áreas de conhecimento para o aprendizado do Processamento Digital de Sinais (SMITH, 1999)</i>	38
<i>Figura 7 – Áreas de Desenvolvimento da Tecnologia DSP (SMITH, 1999)</i>	39
<i>Figura 8 – Diagrama em Blocos do Software Desenvolvido</i>	56
<i>Figura 9 – Forma de Onda do Sinal de Potência Elétrica.</i>	58
<i>Figura 10 – Princípio de Funcionamento do Algoritmo</i>	59
<i>Figura 11 – Fluxograma do algoritmo de extração de passadas do sinal de Potência</i>	61
<i>Figura 12 – Fluxograma do algoritmo de otimização na extração de passadas do sinal de Potência</i>	63
<i>Figura 13 – Resultado do algoritmo de extração de passadas do sinal de Potência</i>	64
<i>Figura 14 – Forma de Onda do sinal de Emissão Acústica</i>	64
<i>Figura 15 – Princípio de Funcionamento do Algoritmo</i>	65
<i>Figura 16 – Fluxograma do algoritmo de extração de passadas do sinal de Emissão Acústica</i>	67
<i>Figura 17 – Fluxograma do algoritmo de otimização de passadas do sinal de Emissão Acústica</i>	69
<i>Figura 18 – Resultado do algoritmo de extração de passadas do sinal de Emissão Acústica</i>	69
<i>Figura 19 – Diferenças entre o Visual Basic e Programas com Interface Gráfica de Programação</i>	71
<i>Figura 20 – Fluxograma da Aquisição de Dados Realizada no Visual Basic</i>	75
<i>Figura 21 – Comunicação Cliente-Servidor em Visual Basic</i>	78
<i>Figura 22 – Algoritmo do Protocolo Proprietário</i>	81
<i>Figura 23 – Medidas de Rugosidade com o Rugosímetro</i>	83
<i>Figura 24 – Software Quantificação de Queima</i>	86
<i>Figura 25 – Resultados Obtidos do Software Quantificação de Queima</i>	87
<i>Figura 26 – Montagem do Banco de Ensaios</i>	89
<i>Figura 27 – Módulo de Potência</i>	90

<i>Figura 28 – Módulo de Emissão Acústica</i>	90
<i>Figura 29 – Posicionamento do Sensor Piezo-Elétrico</i>	91
<i>Figura 30 – Corpo de prova posicionado na mesa retificadora.</i>	93
<i>Figura 31 – Suporte utilizado no balanceamento do rebolo</i>	94
<i>Figura 32 – Massas de metal utilizadas para balancear o rebolo</i>	95
<i>Figura 33 – Algoritmo de Extração de Passadas no sinal de Potência</i>	103
<i>Figura 34 – Cálculo do Parâmetro DPO para a Peça 1</i>	108
<i>Figura 35 – Cálculo do Parâmetro FKS para a Peça 1</i>	108
<i>Figura 36 – Cálculo do Parâmetro DPKS para a Peça 1</i>	109
<i>Figura 37 – Cálculo do Parâmetro DAREA para a Peça 1</i>	109
<i>Figura 38 – Cálculo do Parâmetro DIFP para a Peça 1</i>	110
<i>Figura 39 – Cálculo do Parâmetro DPO para a Peça 2</i>	110
<i>Figura 40 – Cálculo do Parâmetro FKS para a Peça 2</i>	111
<i>Figura 41 – Cálculo do Parâmetro DPKS para a Peça 2</i>	111
<i>Figura 42 – Cálculo do Parâmetro DAREA para a Peça 2</i>	112
<i>Figura 43 – Cálculo do Parâmetro DIFP para a Peça 2</i>	112
<i>Figura 44 – Cálculo do Parâmetro DPO para a Peça 3</i>	113
<i>Figura 45 – Cálculo do Parâmetro FKS para a Peça 3</i>	113
<i>Figura 46 – Cálculo do Parâmetro DPKS para a Peça 3</i>	114
<i>Figura 47 – Cálculo do Parâmetro DAREA para a Peça 3</i>	114
<i>Figura 48 – Cálculo do Parâmetro DIFP para a Peça 3</i>	115
<i>Figura 49 – Cálculo do Parâmetro DPO para a Peça 4</i>	115
<i>Figura 50 – Cálculo do Parâmetro FKS para a Peça 4</i>	116
<i>Figura 51 – Cálculo do Parâmetro DPKS para a Peça 4</i>	116
<i>Figura 52 – Cálculo do Parâmetro DAREA para a Peça 4</i>	117
<i>Figura 53 – Cálculo do Parâmetro DIFP para a Peça 4</i>	117
<i>Figura 54 – Análise Visual da Peça 1</i>	121
<i>Figura 55 – Análise Visual da Peça 2</i>	121
<i>Figura 56 – Análise Visual da Peça 3</i>	122
<i>Figura 57 – Análise Visual da Peça 4</i>	122
<i>Figura 58 – Análise de Rugosidade da Peça 1</i>	123
<i>Figura 59 – Análise de Rugosidade da Peça 2</i>	124
<i>Figura 60 – Análise de Rugosidade da Peça 3</i>	124
<i>Figura 61 – Análise de Rugosidade da Peça 4</i>	124
<i>Figura 62 – Cálculo do Parâmetro DPO para a Peça 1</i>	128
<i>Figura 63 – Cálculo do Parâmetro FKS para a Peça 1</i>	129
<i>Figura 64 – Cálculo do Parâmetro DPKS para a Peça 1</i>	129

<i>Figura 65 – Cálculo do Parâmetro DAREA para a Peça 1</i>	<i>130</i>
<i>Figura 66 – Cálculo do Parâmetro DIFP para a Peça 1</i>	<i>130</i>
<i>Figura 67 – Cálculo do Parâmetro DPO para a Peça 2</i>	<i>131</i>
<i>Figura 68 – Cálculo do Parâmetro FKS para a Peça 2</i>	<i>131</i>
<i>Figura 69 – Cálculo do Parâmetro DPKS para a Peça 2</i>	<i>132</i>
<i>Figura 70 – Cálculo do Parâmetro DAREA para a Peça 2</i>	<i>132</i>
<i>Figura 71 – Cálculo do Parâmetro DIFP para a Peça 2</i>	<i>133</i>
<i>Figura 72 – Cálculo do Parâmetro DPO para a Peça 3</i>	<i>133</i>
<i>Figura 73 – Cálculo do Parâmetro FKS para a Peça 3</i>	<i>134</i>
<i>Figura 74 – Cálculo do Parâmetro DPKS para a Peça 3</i>	<i>134</i>
<i>Figura 75 – Cálculo do Parâmetro DAREA para a Peça 3</i>	<i>135</i>
<i>Figura 76 – Cálculo do Parâmetro DIFP para a Peça 3</i>	<i>135</i>
<i>Figura 77 – Cálculo do Parâmetro DPO para a Peça 4</i>	<i>136</i>
<i>Figura 78 – Cálculo do Parâmetro FKS para a Peça 4</i>	<i>136</i>
<i>Figura 79 – Cálculo do Parâmetro DIFP para a Peça 4</i>	<i>137</i>
<i>Figura 80 – Análise Visual da Peça 1</i>	<i>140</i>
<i>Figura 81 – Análise Visual da Peça 2</i>	<i>140</i>
<i>Figura 82 – Análise Visual da Peça 3</i>	<i>141</i>
<i>Figura 83 – Análise Visual da Peça 4</i>	<i>141</i>
<i>Figura 84 – Análise de Rugosidade da Peça 1</i>	<i>142</i>
<i>Figura 85 – Análise de Rugosidade da Peça 2</i>	<i>142</i>
<i>Figura 86 – Análise de Rugosidade da Peça 3</i>	<i>143</i>
<i>Figura 87 – Análise de Rugosidade da Peça 4</i>	<i>143</i>

Lista de tabelas

<i>Tabela 1 – Padrão de coloração utilizado na classificação das queimas</i>	105
<i>Tabela 2 – Histórico das Passadas no Processo de Retificação – Aço ABNT1045</i>	107
<i>Tabela 3 – Análise do Parâmetro DPO</i>	118
<i>Tabela 4 – Análise do Parâmetro FKS</i>	118
<i>Tabela 5 – Análise do Parâmetro DPKS</i>	118
<i>Tabela 6 – Análise do Parâmetro DAREA</i>	118
<i>Tabela 7 – Análise do Parâmetro DIFP</i>	119
<i>Tabela 8 – Definição dos Limiares de Queima</i>	126
<i>Tabela 9 – Histórico das Passadas no Processo de Retificação – Aço VC131</i>	127
<i>Tabela 10 – Análise do Parâmetro DPO</i>	137
<i>Tabela 11 – Análise do Parâmetro FKS</i>	137
<i>Tabela 12 – Análise do Parâmetro DPKS</i>	138
<i>Tabela 13 – Análise do Parâmetro DAREA</i>	138
<i>Tabela 14 – Análise do Parâmetro DIFP</i>	138
<i>Tabela 15 – Definição dos Limiares de Queima</i>	144

DOTTO, F. R. L. Sistema de detecção automática *on-line* de danos térmicos no processo de retificação com monitoramento via Internet. Bauru, 2004. 220p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Faculdade de Engenharia, Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

RESUMO

O presente trabalho visa o desenvolvimento de um sistema dedicado para a detecção da queima superficial no processo de retificação tangencial plana, onde o processo é constantemente monitorado através dos sinais de emissão acústica e potência elétrica do motor de acionamento do rebolo. Um programa desenvolvido em Visual Basic coleta os sinais por intermédio de um conversor analógico-digital (placa de aquisição), e em seguida, processa tais sinais através de algoritmos de detecção de queima: DPO, FKS, DPKS, DIFP e DAREA, gerando um sinal de controle no caso da ocorrência da queima, avisando o operador ou interrompendo o processo, além de disponibilizar informações do processo na Internet. Paralelamente o usuário também pode interferir no processo através de Internet, modificando parâmetros e/ou monitorando o processo de retificação. Adicionalmente, um estudo comparativo entre os diversos parâmetros também foi realizado.

ABSTRACT

This work aims to develop an intelligent system dedicated to the surface burning detection in grinding process with the constant monitoring of the process by acoustic emission and electrical power of the grinding wheel motor drive. A program in Visual Basic language for Windows was developed which collects the signals through an analog-digital converter (Data Acquisition Board) and further processes the signals using the burning detection algorithms such as those already known as DPO and FKS and three other proposed in this work referred to as DPKS, DIFP and DAREA. Additionally, the software developed sends a control signal in the case of burning occurrence, warning the operator or interrupting the process as well as delivering process information on the Internet. Parallel to it, the user is also able to interfere in the process by the Internet, changing parameters and/or monitoring the grinding process. Also, a comparative study between the several parameters was carried out.

Capítulo 1. Introdução

O processo de retificação é a última etapa de fabricação e, por isso, tem um grande valor agregado ao produto final. Nesse contexto, pesquisadores tem como objetivo controlar o processo de retificação por meio de abordagens que qualificam e quantificam com fidelidade este processo. Devido ao grande número de variáveis envolvidas no processo, as abordagens existentes abrangem uma quantidade limitada de situações, sendo que muitas delas não se aplicam à prática.

Por outro lado, pesquisadores vem agregando as novas tecnologias ferramentas capazes de suprir deficiências que (antigamente) eram difíceis de serem resolvidas. Estas novas tecnologias incorporam uma quantidade enorme de funções avançadas de processamento digital de sinais que processam, filtram ou alteram características para que informações possam ser identificadas do processo. Desta forma, a possibilidade de associar sinais de transdutores com o processamento tornou-se possível.

Com isso, a implementação de sistemas de monitoramento de queima superficial em retificadoras pôde possibilitar uma melhoria na confiabilidade das operações, aliada a um aumento de qualidade e redução de custos. Porém, ainda são encontradas dificuldades na sua implementação, devido a diversos fatores e à falta de critérios bem definidos para a sua perfeita aplicação prática. Este fato caracteriza bem a necessidade de uma ferramenta computacional capaz de suprir esta limitação.

Associando os parâmetros desenvolvidos por outros pesquisadores com ferramentas de processamento digital de sinais, tornou-se possível à proposta deste trabalho inédito e inovador.

Os objetivos principais deste trabalho são:

- Desenvolvimento de um software computacional capaz de processar sinais e detectar a queima no processo de retificação tangencial plana (*off-line* e *on-line*);

- Desenvolvimento de novos parâmetros para a detecção da queima;
- Definição dos limiares de queima (Leve, Média e Severa), comparando os parâmetros desenvolvidos com os já existentes;
- Possibilitar o monitoramento e controle do processo via Internet;
- Elaboração de uma estrutura de banco de dados para armazenar os ensaios e os limiares de queima;

Na primeira parte deste trabalho apresenta-se toda a revisão bibliográfica necessária para a compreensão do Processo de retificação Tangencial Plana. Também são abordadas técnicas de processamento digital de sinais, parâmetros de quantificação de queima conhecidos pela comunidade científica, comunicação remota através de rede de computadores e Internet na área de retificação.

Em seguida, no capítulo “Material e Métodos” apresentam-se todos os material e metodologia de desenvolvimento para a realização do trabalho, incluindo o software desenvolvido (denominado *Grinding Analyses*). Conceitos e informações sobre cada função desenvolvida foram detalhados ao máximo para garantir a completa compreensão. Devido a construção deste software, tornou-se possível também, graças aos novos recursos, a possibilidade da descoberta de novos parâmetros de queima em um tempo relativamente pequeno, pois, o software agregou praticidade na análise dos sinais. Estes parâmetros são apresentados no capítulo “Resultados e Discussões”. Neste capítulo também são mostradas comparações entre os parâmetros FKS, DPO e outros propostos no decorrer do trabalho (DPKS, DIFP e DAREA). A quantificação da queima através da definição de limiares para cada um dos parâmetros envolvidos também foram apresentadas com os resultados finais.

Nos dois últimos capítulos apresentam-se as conclusões e bibliografia referenciada no texto.

No anexo encontra-se um Manual de Operação do software desenvolvido e também o modelo matemático dos filtros implementados no software *Grinding Analyses*.

Capítulo 2. Revisão Bibliográfica

2.1. Introdução

Durante os últimos anos as indústrias nacionais vem sofrendo cada vez mais com a concorrência internacional. Desta forma, a qualidade e funcionalidade dos componentes fabricados industrialmente tem aumentado significativamente. Agregado a estes fatores, torna-se importante que o processo de usinagem seja automatizado e assim resulte em um melhor aproveitamento do material e tempo de usinagem, ou seja, uma melhor relação custo/benefício. Nesta competição as empresas procuram agregar valores aos produtos que os diferem das concorrentes e assim, gerem maiores benefícios ao mercado. Por outro lado, os outros departamentos envolvidos procuram centrar os seus esforços para que haja uma redução ainda maior dos custos envolvidos no processo (AGUIAR, 1997).

A retificação é uma operação de usinagem de alto custo que deveria ser utilizada tão eficientemente quanto possível, pois este processo é recomendado quando se deseja uma elevada qualidade superficial, dimensional ou geométrica. Ao contrário dos processos de fabricação com ferramenta de geometria definida, como o fresamento, na retificação a remoção de cavaco é procedida por uma infinidade de arestas de corte geometricamente não definidas. Além disto, tem-se seções e comprimentos de cavaco variáveis e distintos (AGUIAR, 1997).

A pesquisa bibliográfica descrita a seguir objetiva a formação de uma base teórica para aplicação no desenvolvimento de um software de aquisição de dados e processamento de sinais para a detecção de queima superficial no processo de retificação tangencial plana.

2.2. Principais Variáveis e Parâmetros Envolvidos no Processo de Retificação do Tipo Tangencial Plana

Segundo King & Hahn (1986), em operações de planejamento da retificação é necessário definir as entradas e saídas do processo e desenvolver relações entre elas. Para que isto seja feito é importante distinguir as variáveis de entrada da retificadora e entradas do processo de retificação que ocorrem na interação rebolo-peça. Os parâmetros de entrada típicos das máquinas retificadoras são: taxa de avanço, velocidade de corte do rebolo, velocidade da peça, profundidade de dressagem e tempo de centelhamento (*sparkout*). Estes parâmetros são mostrados na Figura 1.

Nas máquinas de retificação a taxa de avanço é controlada. Como o rebolo interage com a peça, forças são induzidas entre a interface rebolo-peça; quanto maior a força, maior a remoção de material. A força de corte também controla o acabamento superficial, a deflexão da máquina e o princípio do dano térmico. Portanto, a força de corte é uma das mais importantes variáveis que normalmente não são controladas nas máquinas de retificação convencionais. A capacidade de corte da superfície do rebolo de retificação de remover material, chamada de agressividade do rebolo, também é uma variável importante no processo de retificação (KING & HAHN, 1986).

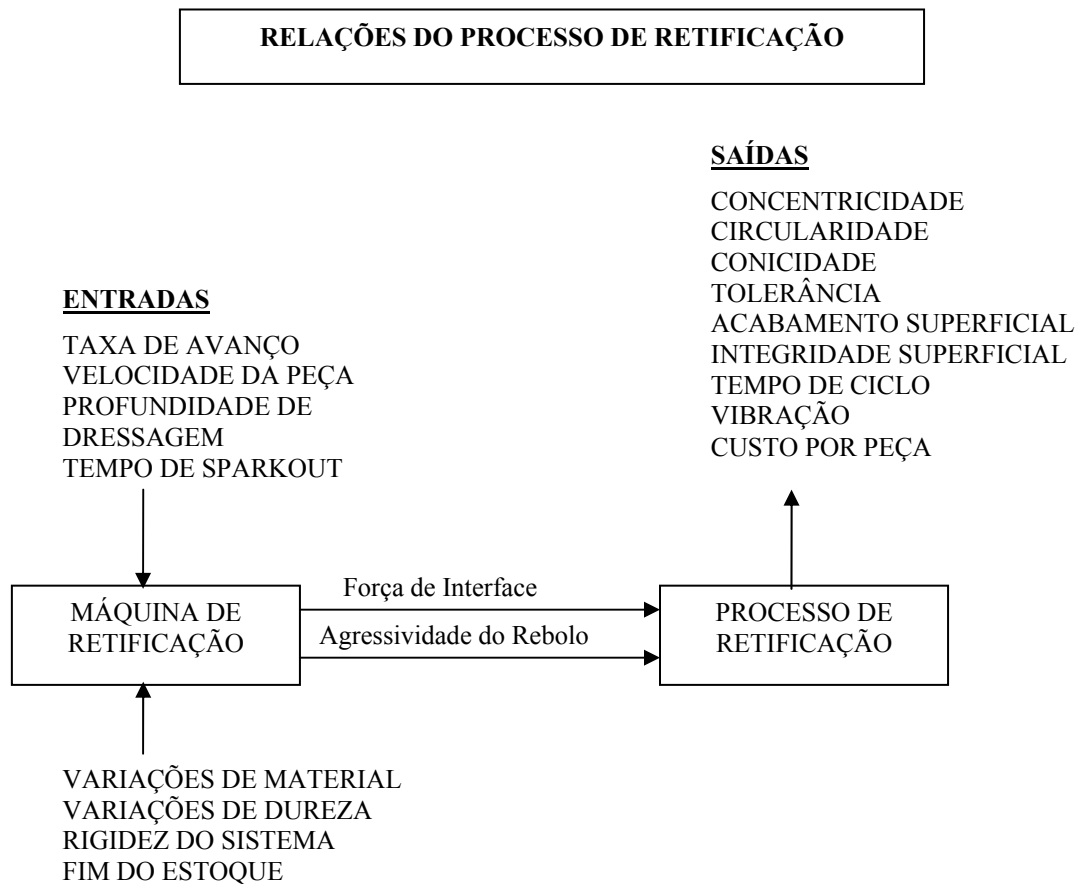


Figura 1 – Variáveis de entrada/saída para máquina e processos de retificação
(adaptado de KING & HAHN, 1986).

2.2.1. Comportamento da Profundidade de Corte

Segundo Malkin apud Bianchi et al. (1996), a deflexão entre o rebolo e a peça aumenta quando a área de contato e, conseqüentemente, o número de grãos em contato com a peça aumentam (considerando a velocidade de corte constante). Sendo assim, a temperatura durante o processo também aumenta. Portanto, um aumento na profundidade de corte (a) provoca um aumento no número de grãos ativos e no tempo de contato, fazendo com que cada grão abrasivo remova uma quantidade maior de metal. Os cavacos resultantes são mais alongados e finos. Há uma maior parcela de atrito e riscamento, desde o início da formação do cavaco até a sua expulsão. Desta forma, o atrito e riscamento entre os

cavacos removidos e a peça elevam a temperatura na região de corte tendo como consequência a elevação de rugosidade, nível de emissão acústica e forças de corte (normal e tangencial). Foi considerado sempre Q_w' constante.

2.2.2. Comportamento da Velocidade de Corte

Segundo Malkin apud Bianchi et al. (1996), a velocidade de corte (V_s) exerce uma substancial influência sobre o comportamento das forças de corte, desgaste do rebolo, acabamento e queima superficial da peça, vibrações da máquina, entre outros. Quando a velocidade de corte é elevada, um mesmo grão abrasivo passa a remover um menor volume de cavaco, pelo aumento da sua frequência de contato com a peça. Portanto, o número de grãos ativos é maior e a espessura do cavaco removido é menor, diminuindo as forças de corte, rugosidade da peça e desgaste do rebolo, pela menor sollicitação de cada grão. Em contrapartida, pelo aumento da intensidade de contato dos grãos com a peça, ocorre uma elevação da temperatura que pode ocasionar um dano térmico na peça.

2.2.3. Comportamento da Velocidade da Peça

Segundo Malkin apud Bianchi et al. (1996), a velocidade da peça (V_w) é coincidente com a velocidade da mesa da máquina retificadora. Esta velocidade está relacionada aos impactos que os grãos abrasivos provocam na peça. Quando a velocidade da peça é baixa e a penetração é grande, os impactos dos grãos abrasivos do rebolo sobre a peça são pequenos e os cavacos são alongados. O tempo de contato grão/peça e o número de grãos ativos são maiores. Assim, a força em um grão abrasivo é pequena e atua durante um tempo longo (Figura 2a). Os grãos abrasivos tendem a permanecer mais tempo em contato com a peça, o que provoca um desgaste maior. As forças de corte (normal e tangencial) tendem a aumentar com o tempo de retificação, pelo desgaste das arestas cortantes. Com isto, o desgaste do rebolo tende a ser menor, considerando-se que os grãos abrasivos permanecem mais tempo presos ao ligante, o que minimiza a perda de grãos.

Quando a velocidade da peça é alta e a penetração do rebolo é pequena, os impactos dos grãos abrasivos do rebolo sobre a peça são grandes e os cavacos são curtos. O tempo de contato grão/peça e o número de grãos ativos são menores, gerando uma força por grão abrasivo grande e por pouco tempo (Figura 2b). Os grãos tendem a se fraturar e a se desprender da superfície de corte do rebolo. Neste caso, as forças totais de corte tendem a uma estabilização pela troca constante de grãos abrasivos. O desgaste do rebolo tende a ser maior que no caso anterior (MALKIN, 1989).

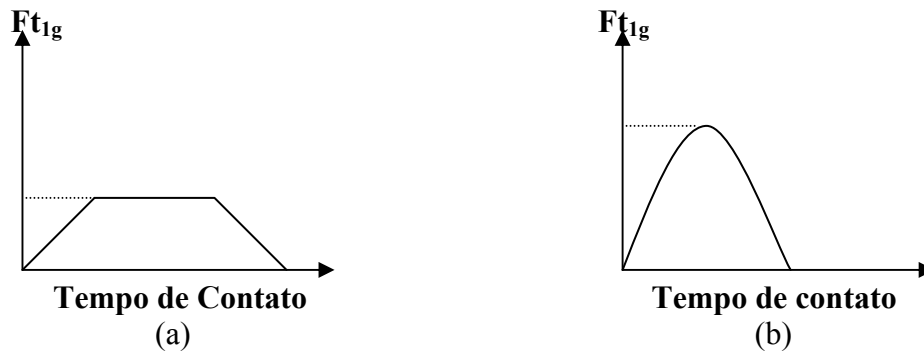


Figura 2 – Influência do tempo de contato na força tangencial de corte em um grão abrasivo (F_{t1g}) (AGUIAR, 1997)

2.2.4. Espessura Equivalente de Corte

Segundo Malkin apud Bianchi (1996), a espessura equivalente de corte (h_{eq}) [μm] representa a espessura da camada de metal que é arrancada pelo rebolo numa volta completa. Trata-se de um parâmetro que permite quantificar uma condição de trabalho a partir das variáveis V_s e V_w , sendo, portanto, muito importante no processo de retificação. A espessura equivalente é expressa por:

$$h_{eq} = \frac{V_w}{V_s} a \quad (1)$$

O parâmetro h_{eq} está diretamente relacionado com o comportamento do processo de retificação em função de variáveis envolvidas como forças de corte, rugosidade, vida da ferramenta, entre outros. A Figura seguinte representa o parâmetro h_{eq} .

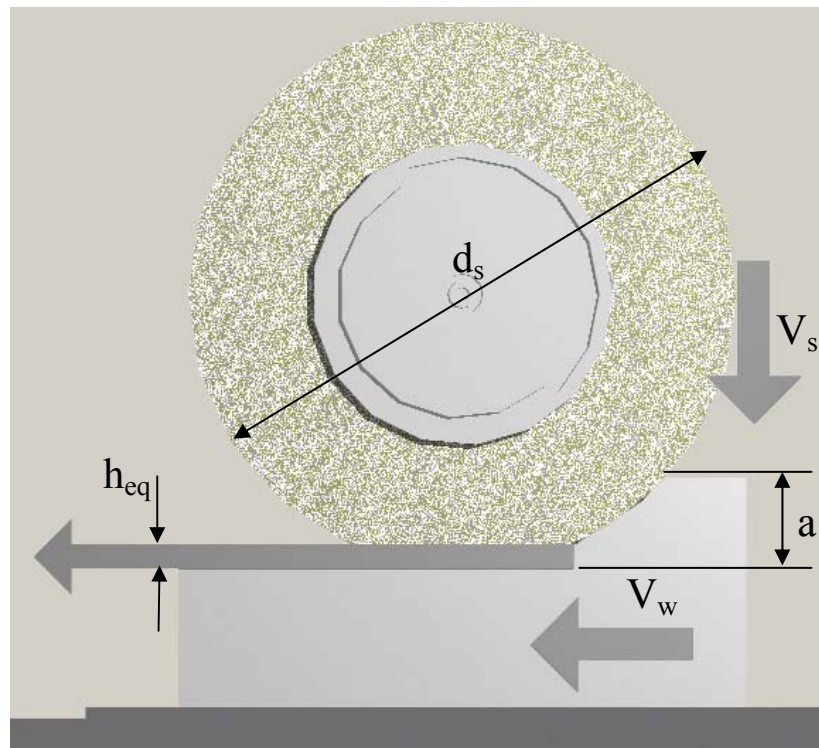


Figura 3 – Espessura de corte equivalente para uma operação tangencial plana do tipo pendular (AGUIAR, 1997)

2.2.5. Relação G

Segundo Malkin apud Bianchi (1991), o parâmetro G foi definido como sendo a relação entre o volume de metal retificado e o desgaste volumétrico do rebolo. Este parâmetro é representado pela equação:

$$G = \frac{Z_w}{Z_s} \quad (2)$$

Onde: Z_w é o volume de metal retificado (mm^3)

Z_s é o volume de rebolo gasto (mm^3)

Esta relação caracteriza o desgaste de um rebolo sob determinadas condições de trabalho. Se o desgaste do rebolo for grande, a relação G é pequena. Isto significa que está havendo auto-afiação e, portanto, o rebolo permanece agressivo pela renovação dos grãos abrasivos. Se o desgaste do rebolo for pequeno, a relação G é alta e, desta forma, não há liberação dos grãos gastos e o rebolo perde a agressividade pelo desgaste do topo dos grãos (MALKIN apud BIANCHI, 1991).

2.3. Conceitos de Retificação

Existem muitos tipos de retificação: de “desbaste” e “precisão”; interna, externa, plana, *centerless*; utilizando-se superabrasivos ou abrasivos convencionais. Segundo King & Hahn (1986), todos os tipos agem de uma maneira semelhante. Quando uma superfície abrasiva em movimento entra em contato com a peça, e se a força é alta o bastante, o material é removido da peça e o rebolo se desgasta. Estes dois fatores sempre irão ocorrer, contudo, o nível da força determina o quão rápido as taxas de remoção de material serão, qual será a rugosidade superficial resultante, e se a peça será metalurgicamente danificada ou não.

A largura do contato rebolo-peça é b . É mais conveniente usar taxas volumétricas de remoção que taxas radiais. Isto permite relacionar sistemas de tamanhos diferentes entre si. Taxas volumétricas de remoção têm sido classificadas de Z (e, mais recentemente, Q) em publicações internacionais.

A força pode ser composta por duas componentes: F_n normal a superfície de contato rebolo-peça e F_t tangencial à superfície de contato. Multiplicando F_t pela velocidade do rebolo tem-se a potência usada na retificação (quando uma constante apropriada relacionando força e velocidade em potência é usada).

Convencionou-se internacionalmente usar quantidades “primárias” para ilustrar fatores “por unidade de largura”. Dessa forma taxas volumétricas de remoção por unidade de largura seriam escritas como: F'_n , F'_t , Z'_w , Z'_s (ou Q'_w e Q'_s). Estas convenções são um tanto confusas no início, porém uma vez compreendidas, pode-se ler artigos do mundo inteiro sem a necessidade de checagem contínua dos símbolos.

A Figura 4 mostra uma configuração da retificação plana que ilustra outra maneira de cálculo de taxas de remoção volumétricas. A profundidade de corte é a e a largura de contato é b . A taxa de remoção é dada por:

$$Z = aV_w b \quad (3)$$

e a taxa de remoção por unidade de largura é:

$$Z' = aV_w \quad (4)$$

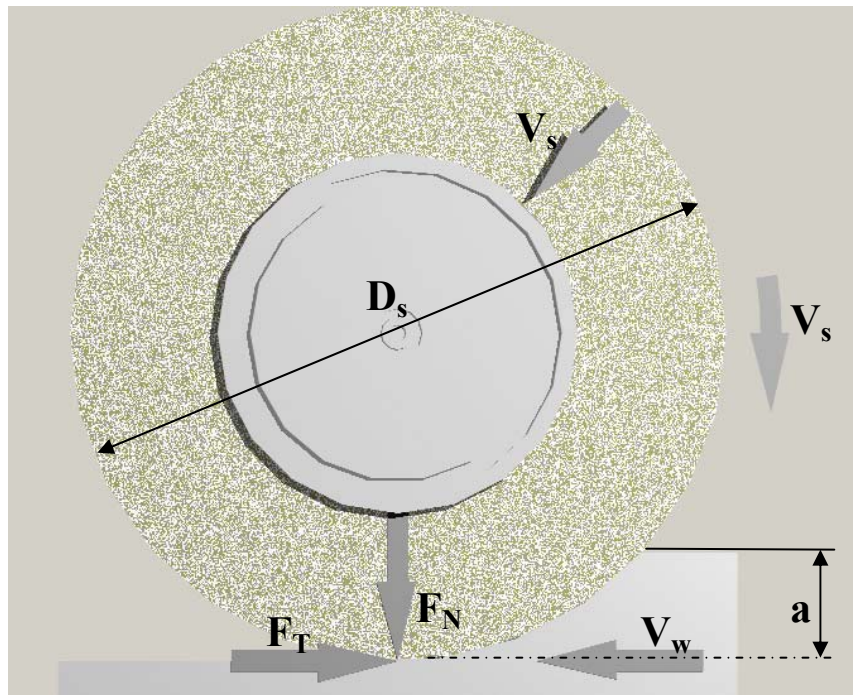


Figura 4 – Esquema da superfície de retificação superficial (KING & HAHN, 1986).

2.4. Conceito de Retificação Inteligente

Segundo Junior (2002), a viabilização da implementação de sistemas de monitoramento em retificadoras pode possibilitar uma melhoria na confiabilidade das operações, aliada a um aumento de qualidade e redução de custos. Isto ocorre uma vez que um sistema de monitoramento funcione como um operador dedicado que observa com precisão o ciclo de cada peça produzida. As operações de retificação que possuem funções monitoradas por sistemas que são capazes de decidir ações corretivas são chamadas de Operações de Retificação Inteligente, ou simplesmente R.I.

Um dos métodos de monitoramento de retificação mais estudados nos últimos anos é o que emprega a análise do sinal de Emissão Acústica (EA). Uma das principais vantagens deste método é não interferir no processo, já que o sistema capta os sinais de EA gerados pela retificação através de um sensor fixado em algum ponto da estrutura da máquina. Outra vantagem é que este tipo de sistema pode ser aplicado no monitoramento de diversos fenômenos ocorridos durante a retificação, utilizando um único sensor fixado em um ponto que permita captar os sinais gerados por estes fenômenos. A implementação da técnica da Emissão Acústica é empregada em diversas funções de R.I. como na detecção de contato e calibração do rebolo (SOARES et al, 2002). Outros sinais também são frequentemente utilizados em funções de R.I. como a potência, vibração e deslocamento (sensor LVDT, de *linear variable differential transformer*). Existem muitos tipos de funções R.I. utilizadas atualmente como a autocalibração do rebolo, detecção de falhas no sobremetal, dressagem inteligente, detecção de colisão e medição dimensional em processo (SOARES et al, 2002).

2.5. Operação de Dressagem

Após a fabricação e uso, ferramentas para retificação não se encontram em condições normais para nova utilização. Podem apresentar grãos cegos, não estar em uma forma geométrica desejada e os poros podem estar

impregnados de cavaco, de modo que a absorção de novos cavacos com sucessiva remoção de material fica dificultada (Malkin, 1989).

A preparação conjunta de perfilamento e afiação de rebolos convencionais na retificação é denominada de operação de dressagem.

Para tal operação, são utilizados diversos tipos de ferramentas denominadas dressadores ou retificadores que incluem: cortadores metálicos (rosetas), bastões retificadores, rodas retificadoras, pontas simples de diamante, dressadores de diamantes múltiplos e em matriz, roletes estacionários e giratórios de diamante e roletes de esmagamento. Cada tipo apresenta vantagens específicas.

As principais finalidades da operação de dressagem são:

- obtenção de concentricidade da face de trabalho com o eixo de rotação;
- perfilamento da face de trabalho para uma operação de forma;
- arrancamento dos grãos abrasivos gastos para melhorar a agressividade da face de trabalho.

Segundo Hassui (2002), a definição do momento correto de dressagem do rebolo é fundamental no processo de retificação. Isso pode ser feito de maneira conservadora, ou seja, antes do fim da vida do rebolo. Desta forma, ocorrerá um desperdício de abrasivo e principalmente, um aumento do tempo de processo, pelo maior número de dressagens realizadas. Vale lembrar que o tempo de corte na retificação normalmente é bastante curto em função dos baixos volumes de material removido. Por outro lado, uma utilização do rebolo além da sua vida poderá acarretar uma rejeição da peça retificada. Caso isso ocorra, o custo aumentará significativamente, já que as peças quando chegam neste estágio possuem alto valor agregado. Nas indústrias a decisão do momento de dressagem é feita, em geral, por operadores da máquina, baseados na variação do ruído gerado pelo processo (WAKUDA & INASAKI apud HASSUI, 2002).

2.5.1. Ferramentas de Dressagem

Segundo König apud Aguiar (1997), as ferramentas de dressagem se distinguem de acordo com o princípio cinemático de ação: ferramentas estáticas e ferramentas rotativas. Para as ferramentas estáticas, ao contrário das rotativas, não existe um movimento de rotação, apenas translação.

As ferramentas de dressagem fixas trabalham da mesma forma que uma ferramenta de torneamento onde o rebolo seria a peça a ser torneada. Esta ferramenta é geralmente fixa à mesa de trabalho ou sobre um dispositivo especial de dressagem e é deslocada com uma velocidade de avanço constante (V_{sd}). Entre dois passos de dressagem, a ferramenta é avançada de um valor de profundidade (a_d). As ferramentas com contato pontual ou na forma de uma linha também são adequadas para o perfilamento. O perfil é produzido pelo movimento da ferramenta de dressagem que é guiada por um sistema copiador. Pode-se encontrar atualmente ferramentas de dressagem comandadas numericamente.

A ferramenta rotativa trabalha da mesma forma que a ferramenta estática, sendo avançada longitudinalmente ao longo do rebolo. As demais ferramentas não necessitam de um movimento de avanço, uma vez que têm uma largura de trabalho (b_d) que é maior ou igual a largura do rebolo (b_s). A velocidade de penetração (V_{fd}) pode ser realizada através de um movimento intermitente nas ferramentas em bloco ou na forma de um movimento contínuo de dressagem por rolo. Em ambos os casos a ferramenta executa movimento de penetração radial em relação ao rebolo. O perfil da ferramenta de dressagem é reproduzido de forma recíproca na superfície do rebolo (KONIG apud AGUIAR, 1997).

Para que durante a dressagem seja possível a remoção de material do rebolo, as ferramentas de dressagem devem ser mais duras que o material do rebolo. Em decorrência disso, para a dressagem de rebolos convencionais são empregadas ferramentas de diamante. Além da dressagem do rebolo por corte, também é usual empregar-se uma sobrecarga de retificação sobre o rebolo, produzindo um efeito de remoção de material de sua superfície. Este procedimento permite que, retificação de materiais extremamente duros e sob

condições extremas de usinagem, sejam produzidas grandes forças de cortes nos contornos dos grãos abrasivos. Estas forças fazem com que os grãos abrasivos cegos lasquem ou sejam expulsos do ligante.

2.5.2. Influência da Dressagem no Processo de Retificação

Ainda é pouco conhecida em sua totalidade a influência das condições de dressagem na retificação, pois a geometria do dressador é um fator de grande influência que freqüentemente não é levado em conta. A maioria dos trabalhos encontrados na bibliografia utilizam como variáveis do processo a profundidade de dressagem (a_d) e o passo de dressagem (S_d) (AGUIAR, 1997).

Segundo Koenig apud Bianchi (1991), são dois os efeitos resultantes da operação de dressagem: o macroefeito e o microefeito.

O macroefeito é formado em função do formato do dressador, da profundidade de penetração deste e do passo de dressagem em que é realizada a operação. Este fenômeno determina a posição na qual as arestas dos grãos abrasivos estão localizadas. Pode-se dizer que o macroefeito é a rosca que o dressador produz na face do rebolo. A próxima Figura (Figura 5) representa o esquema do processo de dressagem.

O microefeito é formado pelo arrancamento dos grãos debastados (com baixa ancoragem na liga) e fratura dos grãos que não se desgastaram por completo, onde novas arestas de corte são geradas pelo dressador.

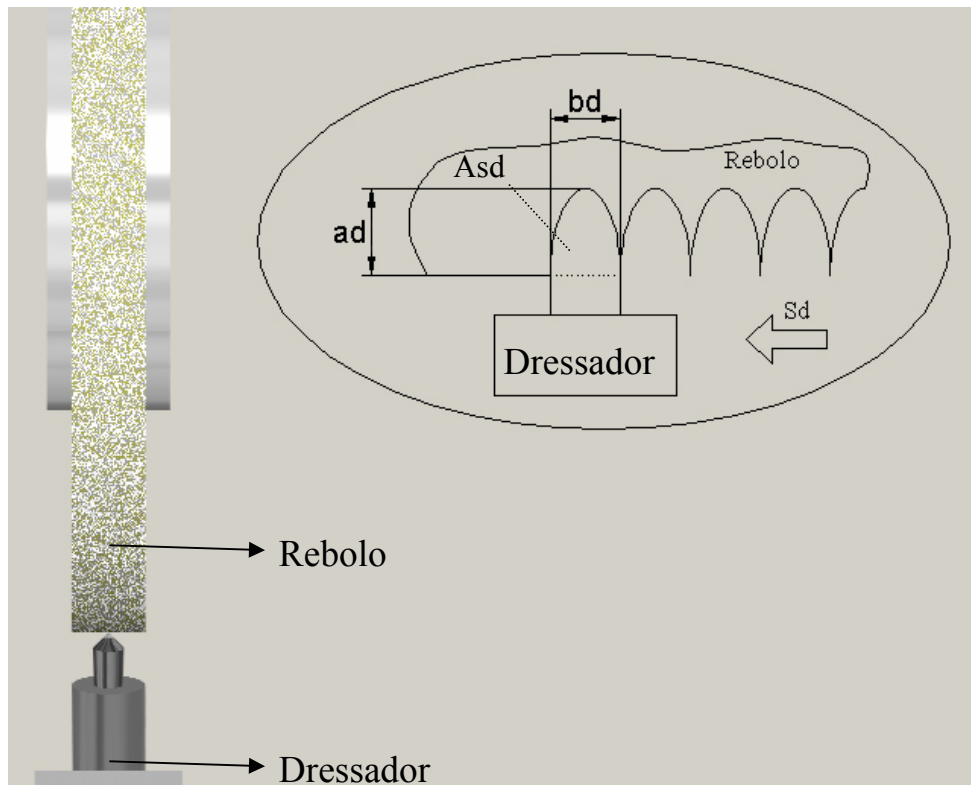


Figura 5 – Esquema do processo de dressagem (adaptado de BIANCHI, 1996).

2.5.3. Grau de Recobrimento (U_d)

Segundo König apud Aguiar (1997), a forma de afiação que usualmente é utilizada é inadequada, pois não leva em conta a largura de atuação deste no instante da operação. Tal largura varia ainda devido ao desgaste da ponta do dressador durante várias operações de dressagem.

König (1980) definiu o parâmetro denominado por grau de recobrimento (U_d) como sendo a relação entre a largura de atuação do dressador (b_d) e o passo de dressagem (S_d), conforme a expressão:

$$U_d = \frac{b_d}{S_d} \quad (5)$$

As condições de dressagem influenciam diretamente na taxa de remoção de material que por sua vez interfere na rugosidade superficial da peça

produzida. Em dressagens grossas, onde o grau de recobrimento é pequeno e o número de arestas atuantes é reduzido, é provocado um aumento na profundidade dos sulcos que, conseqüentemente, provoca valores mais elevados na rugosidade. Na dressagem fina, com valores maiores de grau de recobrimento, um número significativamente maior de arestas atuantes divide os esforços e cada grão abrasivo penetra menos na peça, reduzindo assim os valores de rugosidade.

2.6. Integridade Superficial da Peça de Trabalho

Um dos tipos mais comuns de danos térmicos no processo de retificação é a queima da peça. Quando a queima superficial da peça se inicia, existe uma tendência do crescimento da adesão de partículas metálicas nos grãos abrasivos do rebolo, tendo como conseqüência o aumento das forças de retificação. Este aumento de forças provoca a deterioração da qualidade superficial da peça, podendo levar ao aumento da perda diametral do rebolo, fazendo com que seu desgaste volumétrico aumente. Segundo Malkin (1989), a queima superficial da peça influencia na alteração da microestrutura do material retificado.

Segundo Malkin (1989), a queima superficial da peça, observada para aços de rolamentos, traz um aspecto adverso quanto ao limite de resistência à fadiga e conseqüente diminuição do número de ciclos destes aços após a retificação. Este comportamento é atribuído a formação de martensita não-revenida, gerada no processo de queima superficial, em função do aquecimento à temperatura de austenitização e resfriamento rápido sem posterior alívio de tensões (revenimento).

Existe outra frente de pesquisas que defende o fenômeno do “*film-boiling*” como causa do aumento da temperatura na zona de usinagem.

Shafto (1975) postulou que o aumento rápido na temperatura é característica de um fenômeno conhecido como “*burn-out*”, o qual ocorre em tubos de ebulição. Para uma temperatura crítica, referente a temperatura de “*burn-out*”, existe um colapso no mecanismo de transferência de calor, o qual resulta num rápido crescimento da temperatura. Quando a temperatura atinge valores por

volta de 100 °C, a água entra em ebulição causando bolhas na superfície do aquecedor. Um aumento além da temperatura de ebulição faz com que todas as bolhas se juntem, formando uma camada de vapor sobre a superfície conhecida como “*Film-boiling*”. A transferência de calor através deste filme é muito mais difícil, causando assim um aumento repentino da temperatura.

Yasui & Tsukada (1983) mediram a temperatura na superfície da peça utilizando-se como fluido refrigerante óleo, água e também a seco. Ele verificou que a uma temperatura acima do ponto de ebulição de cada fluido, a superfície da peça atingia rapidamente a temperatura correspondente àquela verificada para a retificação a seco. Em outras palavras, os fluidos deixavam de ser efetivos. Num estudo posterior, Salmon (1988) observou experimentalmente a formação de um filme de vapor na superfície da peça, imediatamente abaixo da zona de contato.

2.7. Monitoramento e Controle do Processo de Retificação

2.7.1. Introdução

Durante o progresso humano de um estado primitivo até o presente, o mundo tecnológico foi marcado pelo desenvolvimento e aperfeiçoamento de novos métodos de controlar o ambiente. O termo *controle* está relacionado com métodos de fazer com que valores específicos sejam atribuídos a determinado parâmetro do sistema a ser controlado (JOHNSON, 1997).

Um dos maiores obstáculos para se atingir a completa automatização do processo de usinagem dentro de sistemas integrados e flexíveis de manufatura é o desenvolvimento do que pode ser chamado usinagem não assistida pelo homem, isto é, um processo no qual o estabelecimento do momento de troca da ferramenta, a própria troca da ferramenta e a mudança das condições de corte visando a otimização do processo não necessitam da intervenção do homem. Para isto, o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle do processo, em tempo real, é de fundamental importância (DINIZ et al., 1991).

A implantação de processos inteligentes na indústria utilizando máquinas comandadas numericamente está crescendo. No entanto, o sistema denominado Controle Número Computadorizado (CNC) é insuficientemente confiável para operar sem a interação humana. É comum observar operadores de máquinas usando o sistema CNC simplesmente para corrigir os parâmetros do processo ou identificar o desgaste e o fim da vida da ferramenta. (AGUIAR et al., 1999)

Segundo Inasaki (1999), existem três importantes objetivos no monitoramento do processo de retificação: detectar problemas que ocorrem durante o processo, fornecer informações para otimizar o processo e contribuir com o estabelecimento de um banco de dados necessário para determinar a configuração dos parâmetros de controle.

Tomando como exemplo o processo de retificação cilíndrica de mergulho, existem muitos parâmetros a serem pré-determinados que estão relacionados com a seleção do rebolo e do fluido de refrigeração. Estes parâmetros são: velocidade do rebolo, velocidade da peça, e avanço. Dentre os parâmetros citados, o que mais influencia no resultado da retificação é a profundidade de corte. Outro fator preponderante é a definição do ciclo de retificação que consiste em determinar a rugosidade desejada, o término da operação e o período de *spark-out*. A informação obtida durante o monitoramento do sistema pode ser usada para minimizar o tempo do ciclo de retificação e aumentar a qualidade do processo (INASAKI, 1999).

2.7.2. Sensores

São necessários múltiplos sensores para o monitoramento e controle do processo de retificação, tomando como exemplo a determinação da vida do rebolo (INASAKI, 1999).

Os sensores são dispositivos que mudam seu comportamento sob a ação de uma grandeza física, podendo fornecer diretamente ou indiretamente um sinal que indica esta grandeza. Quando operam diretamente, convertendo uma

forma de energia, são chamados transdutores. Os sensores de operação indireta alteram suas propriedades, como a resistência, a capacitância ou a indutância, sob ação de uma grandeza, de forma mais ou menos proporcional.

O sinal de um sensor pode ser usado para detectar e corrigir desvios em sistemas de controle, e nos instrumentos de medição, que freqüentemente estão associados aos sistemas de controle de malha aberta (não automáticos), orientando o usuário.

Os principais e mais empregados em processos de monitoramento da retificação são definidos a seguir.

- **Sensores Piezoelétricos** – Os sensores piezoelétricos são utilizados para medir emissão acústica, força e aceleração. São construídos com uma pastilha piezoelétrica montada em cápsula metálica. Sensores aplicados a retificação normalmente necessitam ser blindados, pois podem estar sujeitos a óleo, refrigerante, cavacos e calor. Os sensores piezoelétricos se baseiam na propriedade de certos cristais que, quando excitados, geram um sinal de tensão elétrica (DALLY et. al, 1993).
- **Sensores de Luz, CCD, Fotodiodo/Fototransistor** – são sensores sensíveis a luminosidade e são utilizados na captação de sinais luminosos direta ou indiretamente ao processo.
- **Sensores de Temperatura** – São utilizados para monitorar a temperatura. Os termopares são os sensores de temperatura mais empregados, pois podem ser utilizados para monitorarem a temperatura da estrutura ou de elementos da máquina.
- **LVDT** – Utilizado para medições de posição, dimensões em processo e velocidades e acelerações baixas.
- **Strain gauge (extensômetro)** – mede a deformação que é proporcional à força. Pode ser utilizado para medição da força normal entre o rebolo e peça como também a deformação da estrutura da máquina durante o ciclo (DALLY et. al, 1993).

- **Sensores de Corrente de Efeito Hall** – Em 1879, E. H. Hall descobriu o aparecimento de uma diferença de potencial entre os lados de um condutor através do qual passava uma corrente quando um campo magnético era aplicado. Este fenômeno foi chamado de Efeito Hall em mérito ao descobridor. Uma das aplicações práticas deste fenômeno é o sensor de corrente que fornece uma tensão de saída proporcional à corrente que circula através do condutor, sendo que este passa através de um núcleo magnético semelhante neste aspecto aos transformadores de corrente (DALLY et. al, 1993). Este sensor é utilizado na retificação para medir potência de corte.

2.7.3. Processamento Digital de Sinais

2.7.3.1. Introdução

O Processamento Digital de Sinais (DSP, de *Digital Signal Processing*) é uma das mais potentes tecnologias que está tomando forma na ciência e engenharia no século vinte e um. Diversas mudanças revolucionárias estão ocorrendo em diversas áreas: comunicação, equipamentos médicos, radares e sonares, reprodução de músicas em alta fidelidade, exploração de petróleo, etc. Cada uma dessas áreas tem sua própria tecnologia DSP desenvolvida, com seus próprios algoritmos, funções matemáticas e técnicas especializadas. Em cada uma das áreas temos uma combinação de profundidade e conceitos adequados que impossibilita que uma pessoa possa dominar tudo de toda as áreas com tecnologia DSP (SMITH, 1999).

Segundo Smith (1999), o aprendizado da tecnologia DSP engloba duas principais tarefas:

- Aprender conceitos gerais que são aplicáveis a todas as áreas que utilizam tecnologia DSP.
- Aprender técnicas especializadas para uma determinada área de interesse (neste caso, a retificação).

2.7.3.2. Aspectos Históricos do Processamento Digital de Sinais

A origem do Processamento Digital de Sinais está entre 1960 e 1970 quando o primeiro computador digital tornou-se disponível. Computadores eram muito caros durante esta fase e o DSP era limitado para apenas algumas críticas aplicações. Pioneiramente esforços foram realizados em 4 áreas chaves: radares e sonares, onde a segurança nacional estava em risco; a exploração de petróleo, onde uma grande quantia de dinheiro podia ser gasta; exploração espacial, onde os dados eram especiais; e diagnóstico por imagem (área médica), onde vidas podiam ser salvas. A revolução dos computadores pessoais entre 1980 e 1990 provocou uma explosão do DSP com novas aplicações (SMITH, 1999).

Esta revolução tecnológica começou definitivamente no início da década de 80. No início de 1980, o DSP era ensinado como matéria do curso de graduação em Engenharia Elétrica. Uma década depois, o DSP já estava incluso nos currículos daqueles que não tinha nem a graduação. Hoje, o DSP é um conhecimento básico necessário para a maioria dos cientistas e engenheiros de muitas áreas. A seguir dar-se-á uma leve abordagem das diversas áreas que o Processamento Digital de Sinais está envolvido (PROAKIS & MANOLAKIS, 1996).

Nota-se que o DSP é interdisciplinar, ou seja, existem diversos campos agregados. A Figura 6 apresenta as diversas áreas de conhecimentos que são requisitos necessários para o aprendizado da tecnologia DSP. As áreas muitas vezes se sobrepõem e não são claramente definidas, pois variam de aplicação para aplicação.

A Figura 7 apresenta as diversas áreas aonde o Processamento Digital de Sinais (DSP) vem sendo aplicado.

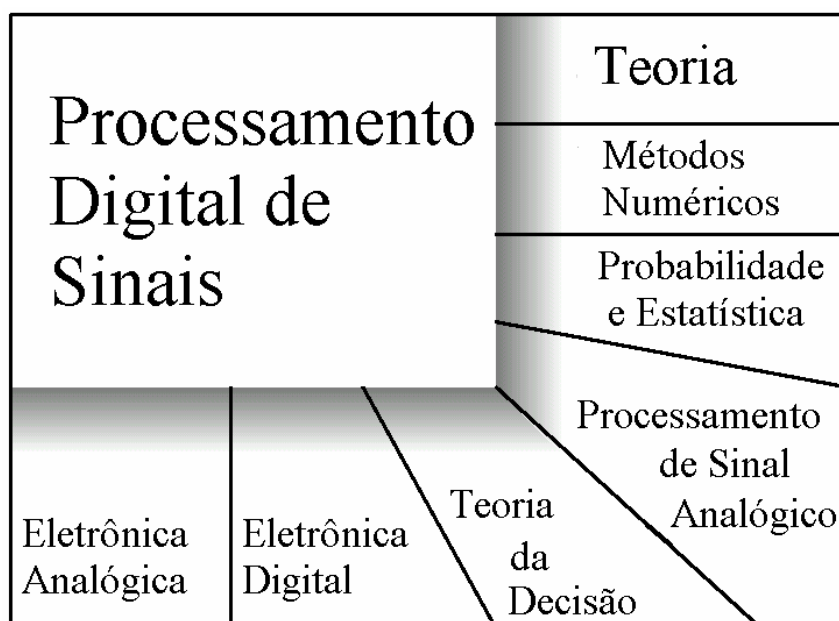


Figura 6 – Áreas de conhecimento para o aprendizado do Processamento Digital de Sinais (SMITH, 1999)

O Processamento Digital de Sinais tem revolucionado as indústrias de telecomunicações em diversas áreas: geração e detecção de sinais de tom, deslocamento da banda de frequência, filtragem para remover ruídos originários das linhas de força, etc (PROAKIS & MANOLAKIS, 1996). Três sistemas específicos são amplamente utilizados na rede pública de telefonia e utilizam DSP: o sistema de multiplexação de sinais, compressão de sinais e controle de eco (SMITH, 1999).

No processamento de áudio, o DSP contribui com várias importantes funções durante a mixagem incluindo filtragem, adição e subtração de sinais, edição de sinais, etc (SMITH, 1999).

O Processamento Digital de Sinais revolucionou também o sistema de sonar na maioria das áreas que revolucionou o sistema de radar: geração de pulso, compressão de pulso e filtragem de sinais detectados. É notório que o sonar é bem mais simples que o sistema de radar, pois trabalha com frequências menores, da ordem de kilohertz. Por outro lado, o sistema de sonar é

muito mais complexo porque envolve um ambiente muito menos uniforme e estável (PROAKIS & MANOLAKIS, 1996).

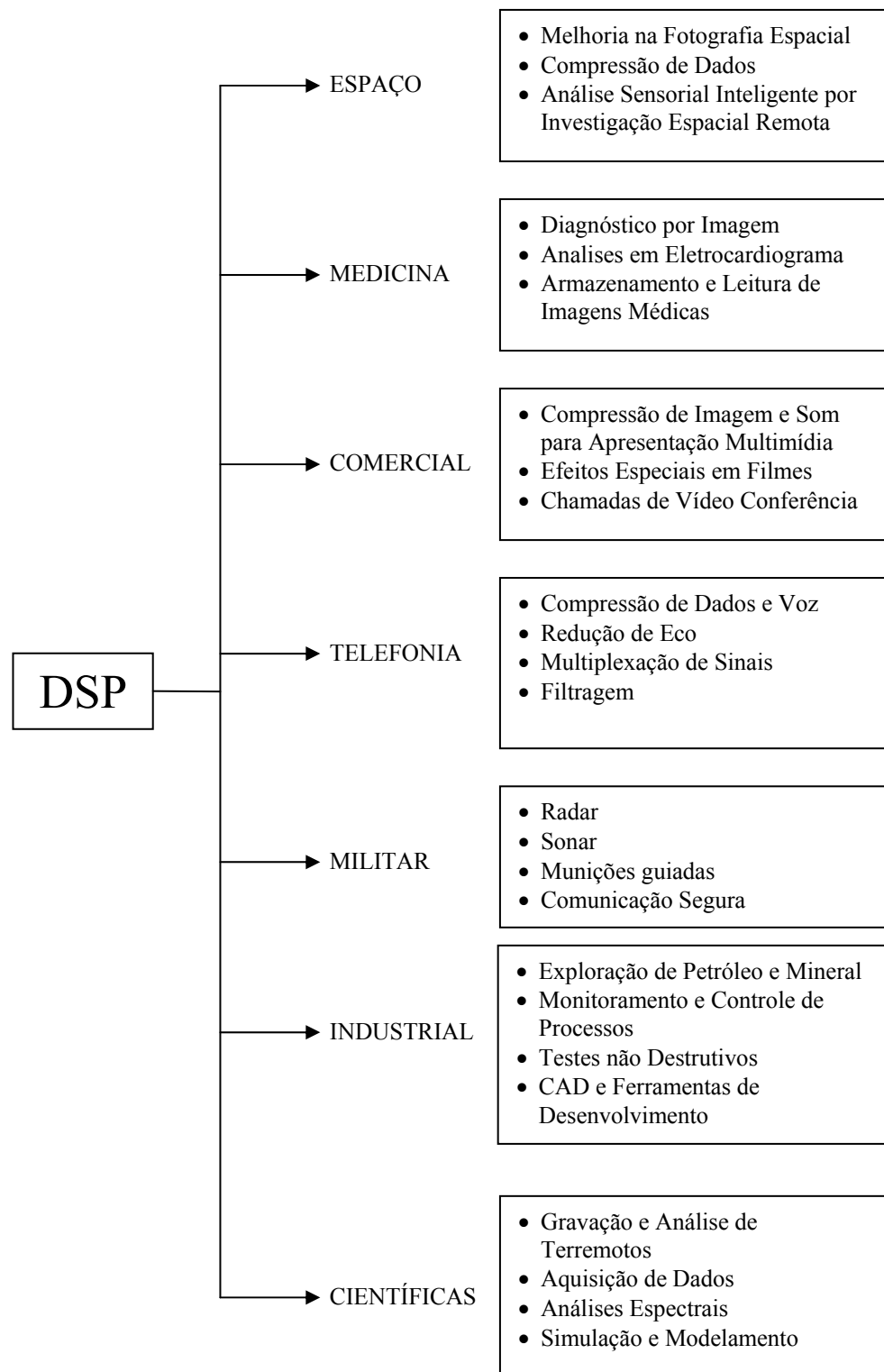


Figura 7 – Áreas de Desenvolvimento da Tecnologia DSP (SMITH, 1999)

O DSP foi um marco também na área médica, por exemplo, a Imagem por Ressonância Magnética (*Magnetic Resonance Imaging – MRI*) usa campos magnéticos em conjunto com ondas de rádio para investigar o interior do corpo humano. Ajustes do campo magnético permitem que a região de ressonância seja rastreada através do corpo, mapeando estruturas internas. Esta informação é normalmente impressa como imagem, como na tomografia computadorizada. Além de prover excelente discriminação entre diferentes tipos de tecidos, MRI pode conter informações sobre a fisiologia, como o fluxo de sangue através das artérias. MRI contam totalmente com técnicas de Processamento Digital de Sinais e não podem ser implementadas sem elas (SMITH, 1999).

Na área espacial, o DSP pode melhorar a qualidade de imagens sob condições extremamente desfavoráveis de várias maneiras: ajuste de brilho e contraste, redução de ruídos, ajustes de foco, redução de efeitos provocados pelo movimento, etc. Imagens que tem distorção espacial, como as encontradas quando uma imagem plana é pega de um planeta esférico, podem estar distorcidas da representação correta. Várias imagens individuais podem ser combinadas em uma base de dados, permitindo que a informação seja mostrada de uma única maneira, por exemplo, uma simultânea seqüência de vídeo simulando um vôo aéreo sobre uma superfície de um planeta distante.

2.7.3.3. Processamento Digital de Sinais no Processo de Retificação

Conforme citado anteriormente, o Processamento Digital de Sinais tem revolucionado diversas áreas. No Processo de retificação também é possível notar as melhorias provocadas pela utilização de funções de Processamento Digital de Sinais. O Processo de retificação é altamente complexo e envolve diversos fatores difíceis de serem manipulados na prática. Desta forma, o DSP vem contribuindo com ferramentas que possibilitam o entendimento e controle do processo de retificação.

O Processamento Digital de Sinais atua em diversas etapas do Processo de retificação:

1. Amplificação e atenuação de sinais adquiridos através de conversores analógico-digitais.
2. Conversão de escalas.
3. Filtragem de ruídos em sinais coletados através dos sensores (Emissão Acústica, Potência, etc.)
4. Normalização de parâmetros, onde a amplitude do sinal pode comprometer o processo.
5. Cálculo de parâmetros para detecção de contato, detecção de queima, detecção de colisão, dressagem inteligente, etc.
6. Reconhecimento de padrões para detecção de defeitos.
7. Interfaceamento homem-máquina durante o processo de usinagem.

A amplificação e/ou atenuação de sinais é uma das etapas mais importantes, pois quando um sinal é adquirido, ele pode apresentar amplitude desigual a cada situação de ensaio o que pode comprometer toda a análise. Desta forma, a amplificação ou mesmo a atenuação deste sinal deve ser feita para garantir uma igualdade em situações semelhantes. Por exemplo, durante a aquisição de sinais de emissão acústica, a posição do sensor em relação à peça que será usinada pode modificar a amplitude do sinal gerado e comprometer todo o processo (AGUIAR, 1997).

A conversão de escalas é utilizada toda vez que o sinal que chega através dos sensores necessita ser ajustado ao tipo de grandeza a qual se realiza a leitura. Por exemplo, a medida de força deve ser calculada encontrando-se uma relação entre a tensão que está sendo lida no sensor de potência elétrica (em Volts) do motor com uma equação característica de calibração, ou seja, uma conversão de Volts em Newton (AGUIAR, 1997).

A filtragem de ruídos quase sempre é aplicada quando se deseja obter informações do processo de retificação, seja através da utilização de filtros digitais ou simplesmente através de filtros analógicos. Sempre durante a leitura de

sinais, ruídos estão presentes devido a fatores externos. Em indústrias o uso de tiristores é muito freqüente, os quais injetam demasiadamente ruídos na rede elétrica. Estes ruídos normalmente são levados pelos sensores até o sistema de aquisição de dados (AGUIAR et al., 2002).

Quando um parâmetro é calculado, pode haver situações que a comparação de valores é necessária. Neste caso, torna-se necessário à normalização dos dados coletados para que eles possam ser comparados. Frequentemente a normalização é utilizada juntamente com o reconhecimento de padrões (DOTTO et al., 2002).

O cálculo de parâmetros é o ponto em que a técnica de Processamento Digital de Sinais difere das outras áreas e representa o principal foco dos maiores centros de pesquisa de todo o mundo. O parâmetro de detecção de contato do rebolo com a peça, por exemplo, diminui o tempo de aproximação da ferramenta o que aumenta os lucros. Podemos ainda definir que se não houvessem parâmetros desenvolvidos, o monitoramento do Processo de retificação não existiria. Hoje, diversas pesquisas estão sendo realizadas para a descoberta de novos parâmetros para auxiliar no monitoramento das condições de queima, condições de dressagem, etc. A nova geração de parâmetros vem dando novos rumos ao processo de retificação. Constantemente pesquisadores desenvolvem ferramentas para otimizar o processo de forma inteligente, a conhecida Retificação Inteligente, que vem ganhando destaque por reduzir o tempo de usinagem e aumentar os lucros (SOARES et al, 2002).

O uso de reconhecimento de padrões é muito próximo ao sistema utilizado no Processamento Digital de Sinais de Áudio (Reconhecimento de fala), entretanto, neste caso ao invés de um banco de palavras temos um banco de defeitos. O uso de reconhecimento de padrões pode utilizar diversas técnicas sendo que as mais promissoras envolvem o uso de Redes Neurais Artificiais (PANSANATO et al., 2002). A utilização de Redes Neurais vem sendo empregada fortemente na predição de defeitos, pois o processo poderia ser interrompido antes mesmo que o defeito ocorresse. Esforços nesta área prometem

para os próximos anos uma mudança no monitoramento de defeitos (SARAVANAPRIYAN et al., 2001).

O Interfacemento homem-máquina engloba ambiente visuais que permitem que os operadores interfiram facilmente no processo, mudando valores e alterando parâmetros sem comprometer a sua segurança. Antigamente os ambientes utilizados no interfaceamento homem-máquina não tinham elementos gráficos, entretanto, com o avanço da informática e a potencialidade dos microcomputadores, os ambientes gráficos foram incorporados facilitando a visualização e operações no processo de retificação. Por outro lado, protocolos permitem que retificadoras CNC conversem com o mundo externo o que garante, por exemplo, o compartilhamento dos dados e interação de vários sistemas entre si.

Mesmo com todos os avanços na área de retificação, ainda existem barreiras que precisam ser superadas para o controle total do processo, pois poucos são os parâmetros fixos no Processo de retificação. Normalmente, a generalização de parâmetros é um problema muito sério porque o comportamento das variáveis envolvidas muda, por exemplo, para um determinado fluido de corte, tipo de rebolo, tipo de peça, velocidade da mesa, profundidade de corte, o parâmetro pode ter um determinado limiar. Quando se muda uma das variáveis os resultados podem ser desastrosos e o parâmetro não pode mais ser utilizado (DOTTO et al., 2002).

É importante lembrar que o Processamento Digital de Sinais atualmente não depende de um microcomputador, pois existem no mercado *chips* de Processamento Digital de Sinais que por um custo muito baixo podem processar milhões de informações por segundo (PATHARE et al., 1998).

Dois métodos promissores de Processamento Digital de Sinais são Redes Neurais (WANG et al. 2001) e Lógica Fuzzy (INASAKI, 1999). Estes métodos utilizam multisensores para obter um modelo do comportamento do processo e analisam a relação entre as entrada e as saídas deste processo podendo, por exemplo, prever fenômenos ocorridos na retificação como queima superficial, quebra, trincas e tensões residuais. O sistema de aquisição, juntamente com um

método de aprendizagem de uma rede neural artificial através do uso de uma estrutura perceptron, pode verificar o momento da ocorrência do fenômeno de queima (AGUIAR et al., 2002). Segundo Saravanapriyan et al. (2001), uma predição inteligente da temperatura de queima usando redes neurais indica o período de vida do rebolo antes da dressagem.

2.8. Parâmetros para Análise da Queima

2.8.1. Parâmetro DPO

Este parâmetro foi proposto em 1997 e estudos tem mostrado a sua eficácia para a detecção da queima. Segundo Aguiar (1997), o sinal RMS de emissão acústica e o sinal de potência de corte combinados podem fornecer parâmetros expressivos para a indicação da queima da peça na retificação plana. Da combinação entre os sinais, Aguiar (1997) propôs um parâmetro indicativo para a queima da peça, denominado DPO, o qual consistia da relação entre o desvio padrão do sinal RMS de emissão acústica e a potência máxima de corte por passada do rebolo.

A expressão 6 representa o parâmetro DPO.

$$DPO = SEAxMAXPOT \quad (6)$$

onde,

SEA é o desvio padrão da emissão acústica;

MAXPOT é a potência máxima na passada;

2.8.2. Parâmetro FKS

Aguiar et al. (2002) desenvolveram um outro parâmetro importante para detectar a queima superficial na retificação plana, o parâmetro FKS. O parâmetro FKS é calculado pela máxima força de corte por passada do rebolo, dividida pelo produto da ferramenta estatística *skewness* e pela ferramenta

estatística *kurtosis*, ambas aplicadas ao sinal de emissão acústica obtido em cada passada do rebolo.

A expressão 7 representa o parâmetro FKS.

$$FKS = \frac{Fc_{MAX}}{S(EA).K(EA)} \quad (7)$$

onde,

Fc_{max} é a máxima força de corte na passada;

$S(EA)$ é o *skewness* do sinal de emissão acústica na passada;

$K(EA)$ é a *kurtosis* do sinal de emissão acústica na passada;

O termo *Skewness* foi primeiramente utilizado por Pearson, 1895. Ele mede o desvio da distribuição da simetria. Se o *Skewness* é claramente diferente de 0 (zero), então a distribuição é assimétrica, enquanto a distribuição normal é perfeitamente simétrica. A equação 8 descreve a ferramenta *skewness*.

$$S = \frac{\sum (X - \mu_x)^3}{N\sigma_x^3} \quad (8)$$

onde,

X é o valor da amostra em função do tempo;

μ_x é a média da amostra;

N é o número de elementos da amostra;

σ_x é o desvio padrão da amostra;

O quarto momento da média está relacionado com a forma da área da distribuição, que pode ser alongada ou achatada em relação a uma distribuição normal. Pode ser utilizado como indicador de variações no sinal de emissão acústica. O *kurtosis* (o termo usado primeiramente por Pearson, por 1905) mede a "indisposição" de uma distribuição. Se o *kurtosis* for claramente

diferente de 0 (zero), então a distribuição é achatada ou mais aguçada que o normal; o *kurtosis* da distribuição normal é 0. O *kurtosis* é definido como:

$$K = \frac{\sum (X - \mu_x)^4}{N\sigma_x^4} - 3 \quad (9)$$

onde,

X é o valor da amostra em função do tempo;

μ_x é a média da amostra;

N é o número de elementos da amostra;

σ_x é o desvio padrão da amostra;

2.9. Controle da Queima no Processo de Retificação Utilizando Sinais de Emissão Acústica

A dificuldade fundamental em controlar os danos causados no processo de retificação é a falta de um método confiável em fornecer realimentação em tempo real durante o processo. Webster et al. (1994) tem mostrado que a medida do sinal de emissão acústica é significativamente mais sensível a variações das condições de retificação do que medidas de força e potência e, portanto fornece uma técnica mais promissora para o monitoramento “*on-line*” do processo. A emissão acústica (EA) pode ser definida como sendo ondas de tensão elástica gerada como um resultado da liberação rápida de energia de deformação dentro de um material submetido a um estímulo externo, devido ao rearranjo de sua estrutura. Estas ondas de tensão produzem deslocamentos na superfície do material o que pode ser detectado por um sensor piezoelétrico que transforma estes deslocamentos em sinais elétricos (DINIZ et al, 1991).

Sua faixa de frequência gira em torno de 50 kHz a 1000kHz, que está acima da faixa de muitos ruídos vindo de fontes exteriores ao próprio processo de retificação. Sendo assim, é um método sensível e adequado para monitorar o processo de retificação (KLUFT, 1994; DORNFELD, 1992).

As origens da emissão acústica no processo são decorrentes principalmente da fratura do grão e do ligante, fissura do grão e fricção entre o grão abrasivo e a peça-obra, todos diretamente ligados ao processo de formação de cavaco e desgaste do rebolo. Com o sinal de emissão acústica é possível determinar o fim do *spark-out*, que é muito importante para diminuir o ciclo de retificação (DORNFELD, 1992).

A Emissão Acústica tem sido usada como um método de teste não destrutivo para avaliação da integridade estrutural de materiais desde o fim da década de 1960, mas o uso de EA no processo de monitoramento de retificação é uma tecnologia relativamente nova (BLUM & DORNFELD 1990, DORNFELD 1986, INASAKI & OKAMURA 1985, KOENIG et al. 1990 e 1993, TORNSHOFF et. al. 1988). Nos últimos anos, artigos técnicos da Alemanha, Japão e EUA têm mostrado pesquisas que tentam relacionar sinais de emissão acústica a aspectos mais complicados do processo de retificação, incluindo a detecção de quebra (CHANG & DORNFELD, 1993), queima e trincas (BLUM & DORNFEL 1990, KOENIG & KLUMPEN 1993), e a transição do modo dúctil/frágil (BIFANO & YI, 1992). Estudos têm sido realizados também no monitoramento do desgaste da ferramenta (WASCHKIES et al., 1994) e na detecção de trincas devido a fadiga (BERKOVITS & FANG, 1995).

O parâmetro predominantemente estudado em pesquisas prévias usando emissão acústica tem sido o valor médio quadrático (RMS) do sinal de EA filtrado (EARms) sobre uma banda de frequência cuidadosamente selecionada. Este sinal tem sido um parâmetro razoável de estudo, pois o processo de retificação é muito rico em ondas sonoras, contendo portanto, muita informação acústica disponível sendo, por isso, utilizado como foco de pesquisas anteriores e atuais, e também por limitações tecnológicas.

Aguiar (1997) demonstrou que o sinal RMS de emissão acústica e o sinal de potência de corte combinados podem fornecer parâmetros expressivos para a indicação da queima da peça na retificação plana. O referido pesquisador tem usado uma configuração onde se utilizou um sensor fixo de EA acoplado próximo da peça e um sensor de potência elétrica do motor de acionamento do

rebolo para as medidas da força de corte. Da combinação entre os sinais, Aguiar (1997) obteve um parâmetro indicativo para a queima da peça, denominado DPO, apresentado anteriormente. Embora para a maioria dos ensaios realizados o parâmetro denominado DPO tenha se mostrado um indicador da queima, para alguns casos não se comportou da mesma maneira. Aguiar et al. (2002) desenvolveram um outro parâmetro importante para detectar a queima superficial na retificação plana, o parâmetro FKS, o qual foi também apresentado anteriormente. O parâmetro FKS demonstrou ser muito sensível às variações nas condições de usinagem e, portanto, mostrou-se muito eficiente na detecção da queima superficial da peça. Dotto et al. (2002) efetuou uma comparação entre estes dois parâmetros de queima (DPO e FKS) e constatou que para o aço ABNT1020 o FKS demonstrou-se mais sensível que o parâmetro DPO. Por outro lado, segundo Aguiar (2003) o parâmetro FKS não apresentou bons resultados quando comparado a outros tipos de parâmetros (RMS, CFAR, ROP e MVD) para o aço ABNT1045. Desta forma, pode-se concluir que para cada tipo de aço, rebolo, fluido de corte, velocidade da peça, velocidade superficial do rebolo e profundidade de corte, novos testes devem ser realizados, pois não existe uma única estatística para todos os casos e sim a aplicação de uma ou várias estatísticas para cada situação de queima.

Oliveira et al. (2000) utilizou o sinal de emissão acústica para monitorar o rebolo no processo de dressagem, construindo uma metodologia onde a imagem do rebolo era gerada através de um software computacional.

O sinal bruto de emissão acústica também tem sido explorado recentemente no monitoramento do processo de retificação. Artigos técnicos (WANG et al. 2001 e JEMIELNIAK 1997) mostram que a utilização de ferramentas de processamento de sinais e redes neurais são eficientes no monitoramento da retificação. Segundo Pansanato et al. (2002), o sinal puro de emissão acústica apresenta maior flexibilidade no monitoramento, pois possui todas as vantagens do sinal de emissão acústica RMS além de conter muitas informações que normalmente são desprezadas quando se obtém somente o sinal RMS de emissão acústica. Segundo Inasaki (1998) a alta sensibilidade do sinal

puro de emissão acústica associado a outros tipos de sensores como, por exemplo, o sensor de força será extremamente promissor. Aguiar (2003) em sua tese de livre docência desenvolveu outros parâmetros que utilizam o sinal de emissão acústica puro na detecção da queima.

Mokbel & Maksoud (2000) afirmam que o sinal puro de emissão acústica pode ser uma ferramenta muito útil para o monitoramento das condições do rebolo no processo de retificação e ainda, que as variações da amplitude da emissão acústica e da rugosidade superficial no espectro de frequência refletem a condição superficial do rebolo.

Segundo Bianchi et al. (1996), os métodos industriais usuais para testar a superfície da peça usinada são os testes visuais e os de inspeção de fraturas. Com estes métodos, é impossível uma avaliação quantitativa da superfície e da região subsuperficial. Técnicas laboratoriais de medidas de alta resolução, como difração de raios X, testes de dureza com identificadores e inspeção metalográfica, consomem muito tempo e não são realizados em tempo real. Em muitos casos, a peça ainda tem que ser destruída para se obter informações sobre o estado da subsuperfície. Sendo assim, esforços para medição rápida de integridade superficial ganharão maior importância devido às maiores exigências sobre o comportamento funcional de peças retificadas.

A procura constante por equipamentos compactos e simples de serem implementados na prática vem sendo cada vez maior. Devido à complexidade do processo de retificação, antigamente tais tipos de equipamento eram difíceis de serem implementados. Atualmente com o avanço da tecnologia e o barateamento dos processadores digitais de sinal, uma nova linha de pesquisa esta sensivelmente sendo consolidada nos grandes centros de pesquisa internacionais. Desta forma, o número de equipamentos destinados ao controle de processos remotos vem aumentando e todo o processamento que antes dependia de um microcomputador está migrando para microcontroladores e os *chips* (circuitos integrados) dedicados de Processamento Digital de Sinais.

Segundo Mota & Fonseca (1998), é possível o desenvolvimento de sistemas de aquisição de dados de baixo custo integrado a interfaces de dados

como RS485, RS422, USB, etc. Em seu trabalho, Mota & Fonseca (1998) desenvolveu uma interface educacional e de baixo custo para aquisição de dados. Esta interface utilizava um microcontrolador dedicado da família PIC de baixo custo com comunicação serial endereçável que permitia que vários módulos compartilhassem a mesma rede de dados.

Pathare et al. (1998) desenvolveu um sistema de aquisição de dados para o monitoramento do processo de retificação utilizando um chip de Processamento Digital de Sinal, onde todo o processo de filtragem e condicionamento de sinal era feito internamente ao chip. Utilizou também um sistema de rádio (banda ISM - 900Mhz) para a transmissão dos dados em tempo real.

Devido a estas mudanças que estão ocorrendo no mundo científico com a introdução destes *chips* dedicados e novas rotinas de processamento de sinal, o número de artigos relacionando tais temas com o processo de retificação é extremamente limitado. Quando uma abordagem ainda mais restrita é aplicada, como por exemplo, o controle *on-line* da detecção de queima no processo de retificação tangencial plana, nenhum artigo pode ser encontrado. Desta forma, fica claro a importância deste trabalho no mundo científico, contribuindo com o desenvolvimento de pesquisa inédita nesta área.

2.10. Acesso Remoto usando Redes de Computadores

Com a popularização dos computadores e das redes de dados, a implementação de sistemas de controle com monitoramento remoto tornaram-se muito comum no meio científico, pois aplicações que necessitavam de um acompanhamento constante puderam ser implementadas.

Para que um protocolo se torne um padrão Internet (ROSE, 1990) é necessário documentá-lo através de uma RFC (*Request for Comments*). As RFCs podem ser obtidas por qualquer pessoa conectada a Internet. Da análise das RFCs surgem sugestões, e novas versões do protocolo podem ser elaboradas. Quando o protocolo se torna estável, um dos membros da IAB (*Internet Activity Board*) propõe ao comitê que o protocolo se torne um padrão.

TCP/IP é um acrônimo para o termo *Transmission Control Protocol/Internet Protocol Suite*, ou seja, é um conjunto de protocolos, onde dois dos mais importantes, o IP e o TCP (POSTEL, 1981), deram seus nomes à arquitetura. O protocolo IP, base da estrutura de comunicação da Internet é um protocolo baseado no paradigma de chaveamento de pacotes (*packet-switching*) (MILLER, 1997).

A arquitetura Internet TCP/IP dá ênfase toda especial à interligação de diferentes tecnologias de redes (COMER, 1991). A idéia baseia-se na seguinte constatação: não existe nenhuma tecnologia de rede que atenda aos anseios de toda a comunidade de usuários. Alguns usuários precisam de redes de alta velocidade que normalmente cobrem uma área geográfica restrita. Já outros, se contentam com redes de baixa velocidade que conectam equipamentos distantes milhares de quilômetros uns dos outros. Portanto, a única forma de permitir que um grande volume de usuários possa trocar informações é interligar as redes às quais eles estão conectados, formando assim uma inter-rede.

Desta forma, o TCP/IP pode ser utilizado sobre qualquer estrutura de rede, seja ela simples como uma ligação ponto-a-ponto ou uma rede de pacotes complexa. Como exemplo, pode-se empregar estruturas de rede como Ethernet, Token-Ring, FDDI, PPP, ATM, X.25, Frame-Relay, barramentos SCSI, enlaces de satélite, ligações telefônicas discadas e várias outras como meio de comunicação do TCP/IP (WERNER, 1998).

A arquitetura TCP/IP, assim como a OSI realiza a divisão de funções do sistema de comunicação em estruturas de camadas. A arquitetura TCP/IP é organizada em quatro camadas conceituais constituídas sobre uma quinta camada que não faz parte do modelo, a camada intra-rede (COMER, 1991). As quatro camadas da arquitetura TCP/IP são: Aplicação, Transporte, Inter-Rede, Rede (ou física).

a) Camada de Rede

A camada de rede é responsável pelo envio de datagramas construídos pela camada Inter-Rede. Esta camada realiza também o mapeamento

entre um endereço de identificação de nível Inter-rede para um endereço físico ou lógico do nível de Rede. A camada Inter-Rede é independente do nível de Rede (MILLER, 1997).

b) Camada Inter-Rede

Esta camada realiza a comunicação entre máquinas vizinhas através do protocolo IP. Para identificar cada uma das máquinas e a rede onde elas estão situadas, é definido um identificador, chamado endereço IP, que é independente de outras formas de endereçamento que possam existir nos níveis inferiores. No caso de existir endereçamento nos níveis inferiores é realizado um mapeamento para possibilitar a conversão de um endereço IP em um endereço deste nível (MILLER, 1997).

c) Camada de Transporte

Esta camada reúne os protocolos que realizam as funções de transporte de dados fim-a-fim, ou seja, considerando apenas a origem e o destino da comunicação, sem se preocupar com os elementos intermediários. A camada de transporte possui dois protocolos que são o UDP (*User Datagram Protocol*) e TCP (*Transmission Control Protocol*).

O protocolo UDP realiza apenas a multiplexação para que várias aplicações possam acessar o sistema de comunicação de forma coerente.

O protocolo TCP realiza, além da multiplexação, uma série de funções para tornar a comunicação entre origem e destino mais confiável. São responsabilidades do protocolo TCP: o controle de fluxo, o controle de erro, a sequenciação e a multiplexação de mensagens (WERNER, 1998).

A camada de transporte oferece para o nível de aplicação um conjunto de funções e procedimentos para acesso ao sistema de comunicação de modo a permitir a criação e a utilização de aplicações de forma independente da implementação. Desta forma, as interfaces *socket* ou TLI (ambiente Unix) e *Winsock* (ambiente Windows) fornecem um conjunto de funções-padrão para

permitir que as aplicações possam ser desenvolvidas independentemente do sistema operacional no qual rodarão (MILLER, 1997).

d) Camada de Aplicação

A camada de aplicação reúne os protocolos que fornecem serviços de comunicação ao sistema ou ao usuário. Pode-se separar os protocolos de aplicação em protocolos de serviços básicos ou protocolos de serviços para o usuário (MARTINS, 2002).

2.11. Aplicações Cliente-Servidor em TCP/IP

Em TCP/IP, não se tem propriamente computadores que são servidores e outros que são clientes. Existem computadores rodando aplicações servidoras e computadores rodando aplicações clientes. Um mesmo computador pode rodar os dois tipos de aplicações (DAMASCENO, 1996).

Digamos que se tenha um arquivo com uma aplicação muito interessante e deseje-se torná-la disponível para se fazer *download*. Pode-se escrever um programa que enviará esse arquivo para um solicitador desde que este lhe envie determinada mensagem. Esse programa ficará rodando em *looping* (*listening*) esperando que alguma mensagem chegue. O programa define uma porta para onde deverá ser enviada a mensagem. O solicitador deverá conhecer seu endereço IP e essa porta. Nessa situação, pode-se dizer que a aplicação que espera a mensagem se tornou um servidor e a aplicação que envia a mensagem se tornou um cliente. Quando uma solicitação chegar, será estabelecida uma ligação virtual entre o servidor e o cliente. Essa ligação é feita através de *sockets* (DAMASCENO, 1996).

A interface de *socket* é um conjunto de funções para permitir a utilização do sistema de comunicação por processos (programas) em um sistema operacional. A interface *Winsock* é composta de funções semelhantes a *socket*, entretanto, para o ambiente *Windows* (MARTINS, 2002).

2.12. Internet em Sistemas de Manufatura

A utilização da Internet em sistemas de manufatura vem tornando-se comum no decorrer dos anos. Diversos artigos mostram a integração destes sistemas com a Internet possibilitando a criação de softwares de simulações, monitoramento e controle.

Segundo Álvares & Ferreira (2003), o ensino de Engenharia na área de Automação Industrial, em especial na área de sistemas de manufatura e robótica, deve combinar necessariamente teoria e prática, entretanto, a prática depende normalmente de laboratórios caros. Desta forma, seu trabalho apresenta a implementação de laboratórios remotos via Internet.

Por outro lado, Ferreira & Nunes (2003) sugerem simulações de sistemas de manufatura através da Internet, onde qualquer pessoa do mundo tem acesso às simulações realizadas através de um software desenvolvido em Java.

Além disso, muitas outras aplicações tornam-se possíveis utilizando a Internet. Quando se restringe a pesquisa para o Processo de retificação Tangencial Plana, torna-se difícil encontrar trabalhos que utilizam a Internet como meio de comunicação, mostrando, desta forma, mais uma vez a importância deste trabalho para a comunidade científica.

Capítulo 3. Material e Métodos

3.1. Introdução

A detecção da queima no processo de retificação é realizada através da aplicação de parâmetros nos sinais coletados através de uma placa de aquisição de dados ou conversor analógico-digital. Para que a detecção seja *on-line*, conforme proposto neste trabalho, torna-se necessário o desenvolvimento de um software computacional capaz de realizar tal tarefa.

Para a realização deste software foi necessária a implementação de rotinas computacionais dedicadas bem como a montagem de um banco de ensaios para a validação do mesmo.

A primeira parte deste capítulo aborda todos os algoritmos desenvolvidos para a detecção da queima, acesso via rede, comunicação com a placa de aquisição de dados da fabricante *National Instruments*. A segunda parte consiste das características técnicas empregadas na montagem do banco de ensaios, incluindo características do sistema, utilização do rugosímetro e software de quantificação visual da queima.

3.2. Software Desenvolvido

O objetivo do software desenvolvido intitulado “*Grinding Analyses*” é contribuir para o monitoramento da queima no processo de retificação tangencial plana, ou seja, uma ferramenta que em associação com outras ferramentas de retificação inteligente possa agregar novas funções ao controle do processo. Todo o software foi desenvolvido utilizando a linguagem *Basic* na plataforma Visual, ou seja, *Visual Basic* versão 6.0 da *Microsoft*.

A Figura 8 apresenta um diagrama em blocos do software desenvolvido com todas as suas funcionalidades.

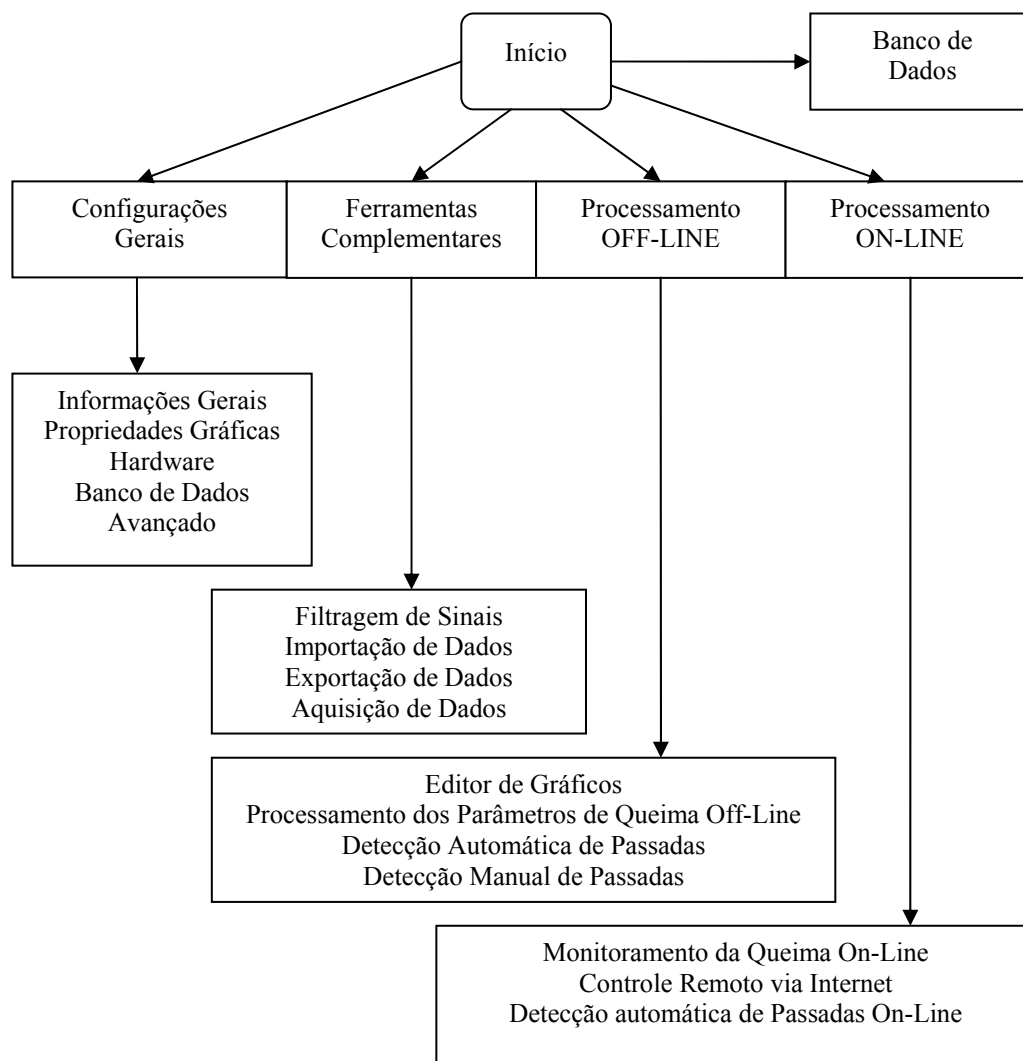


Figura 8 – Diagrama em Blocos do Software Desenvolvido

No bloco “Configurações Gerais” foram implementadas todas as funções para configuração do software, ou seja, parâmetros necessários para que o mesmo possa ser executado. A definição dos canais onde os sinais serão armazenados, tempo de aquisição, taxa de amostragem, características dos gráficos que são apresentados, parâmetros do banco de dados entre outros fazem parte deste bloco.

As “Ferramentas Complementares” relacionam todos os algoritmos para manipulação e tratamento dos sinais. Rotinas de filtragem, aquisição de dados, importação e exportação foram incluídas neste bloco. Nesta

etapa torna-se possível transmitir e receber dados de programas externos agregando portabilidade aos ensaios realizados. A ferramenta de aquisição de dados incorporada neste bloco tem a função de adquirir sinais oriundos da placa de aquisição sem qualquer processamento. O desenvolvimento matemático e os algoritmos de filtragem implementados no software encontram-se detalhados no Anexo II.

O bloco “Processamento *off-line*” reúne todas as funções para análise e processamento de parâmetros *off-line*. As funcionalidades deste bloco são extremamente grandes possibilitando a visualização dos canais e aplicação de ferramentas de análise (média, desvio padrão, variância, FFT - Transformada Rápida de Fourier, máximo, mínimo, etc.) em qualquer um dos canais mapeados no software. Faz parte deste bloco também o cálculo dos parâmetros de queima *off-line* que possibilita ao usuário detectar as passadas onde a queima ocorreu com base em um determinado parâmetro previamente escolhido. Adicionalmente as funções de detecção automática de passadas foram implementadas permitindo que todo o processo para o cálculo de parâmetros de queima seja feito sem a interferência do usuário. No próximo tópico os algoritmos de detecção de passadas implementados serão analisados minuciosamente.

O “Processamento de Queima *on-line*” aborda os mesmo tópicos do processamento de queima *off-line*, entretanto, as funções foram ajustadas para serem executadas enquanto o processo ocorre. Neste bloco, o acesso a Internet também se torna disponível permitindo que o usuário possa monitorar e alterar parâmetros remotamente.

No bloco “Banco de Dados” encontra-se o acervo de ensaios realizados, permitindo inclusão, alteração ou exclusão. O acesso a uma base de dados remota também se torna possível neste bloco. Este banco de dados inclui características do rebolo, peça, fluido e controle.

O detalhamento completo (manual de operação) deste software desenvolvido encontra-se no Anexo I.

3.3. Detecção Automática de Passadas do Rebolo

O sistema de detecção automática de passadas permite a detecção e seleção de passadas do rebolo sem a interferência do usuário. Os sinais comumente coletados de sensores e utilizados na detecção da queima no processo de retificação tangencial plana são: Emissão Acústica e Potência Elétrica do Motor. Partindo deste princípio, desenvolveram-se algoritmos capazes de analisar estes sinais e retirar informações das passadas considerando sempre uma peça uniforme e sem descontinuidade (buracos). Analisar-se-ão separadamente o tratamento de sinal dado aos sinais de Emissão Acústica e Potência.

3.3.1 Detecção Automática de Passadas nos Sinais de Potência Elétrica

Para se analisar o algoritmo de detecção de passadas, deve-se perceber anteriormente o formato do sinal de Potência Elétrica. A Figura 9 mostra a forma de onda do sinal de Potência Elétrica.

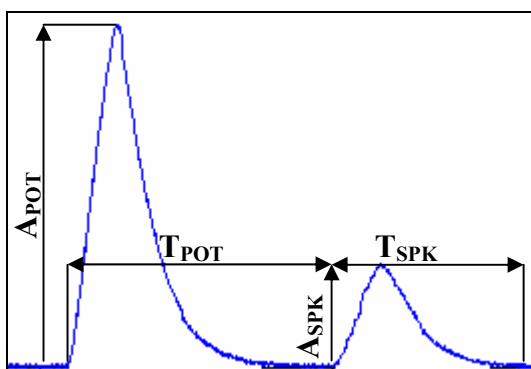


Figura 9 – Forma de Onda do Sinal de Potência Elétrica.

Pode-se notar que os parâmetros mais importantes envolvidos no sinal de Potência Elétrica são: T_{POT} é o tempo válido do sinal durante uma passada válida; T_{SPK} é o tempo válido do sinal de potência durante o *spark out*; A_{POT} é a amplitude máxima durante uma passada válida; A_{SPK} é a amplitude máxima durante o *spark out*.

Esta forma de onda se repete durante o processo de retificação até que todo o material a ser removido da peça seja retirado. A cada passada válida tem-se um retorno da mesa onde o rebolo não sofre avanço sobre a peça (*spark out*), por isso, sempre após uma passada válida tem-se o seu *spark out* correspondente.

Para se elaborar o algoritmo de detecção de passada era necessário saber o instante que a passada válida se iniciava e o momento que ela terminava. Uma das maneiras possíveis para se fazer isso era definir um patamar que ao ser alcançado pelo sinal de potência indicaria o início dessa passada e quando o sinal de Potência voltasse a cair abaixo deste patamar o fim da passada era detectado. Isto pode parecer bem interessante de início, entretanto, nota-se que definir este patamar poderia se tornar muito mais complexo do que se imagina. Notou-se que o sinal de potência poderia variar e a definição de um patamar poderia comprometer parte do sinal que pertencia a passada.

Estudando-se a variação do sinal foi possível perceber que o sinal de Potência cresce até um valor máximo e depois decresce até um valor mínimo mantendo esta seqüência durante todo o ciclo de retificação. Desenvolveu-se, então, um algoritmo que verificava a tendência ao crescimento ou declínio, simplesmente construindo uma reta de tendência.

Para se entender o funcionamento deste principio deve-se observar a Figura 10.

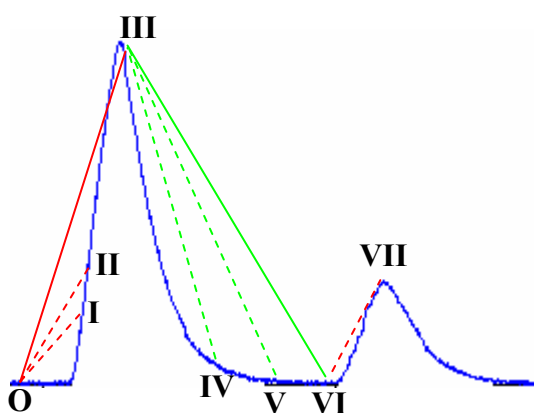


Figura 10 – Princípio de Funcionamento do Algoritmo

Admitindo-se que o ponto 0 mostrado na Figura 10 seja o ponto de partida do algoritmo, pode-se analisar o funcionamento. Inicialmente, compara-se a variação da amplitude deste ponto em relação ao próximo e assim sucessivamente. Quando se encontra um desvio em torno de 5%, o algoritmo considera o início de uma reta de tendência. Por exemplo, ao se comparar o ponto 0 com o ponto I é possível notar que existe uma tendência positiva. A mesma análise é repetida agora do ponto I com o ponto II e o algoritmo detecta que esta tendência se mantém.

Quando a análise é feita com o ponto III e ponto IV o software detecta que a tendência se inverteu, ou seja, ao invés de uma tendência positiva a tendência passa a ser negativa, então ele constrói uma reta válida entre 0 e III, muda a sua tendência para declínio e continua procurando uma nova mudança de tendência. A próxima mudança de tendência ocorrerá entre o ponto VI e VII onde uma nova inversão de tendência ocorre, então uma nova reta é construída entre os pontos III e VI. Neste ponto a tendência atual passa a ser positiva e uma nova inversão de tendência (tendência ao declínio ou negativa) é procurada.

Para uma melhor compreensão foi elaborado um fluxograma simplificado do algoritmo de detecção de passada. A Figura 11 mostra o fluxograma para a construção das retas de tendência.

Deve-se analisar o algoritmo levando em consideração que situações adversas não ocorrem, pois as rotinas de tratamento de erro não foram incluídas no fluxograma. É importante também se notar que as variáveis que não foram inicializadas tem como valor padrão 0.

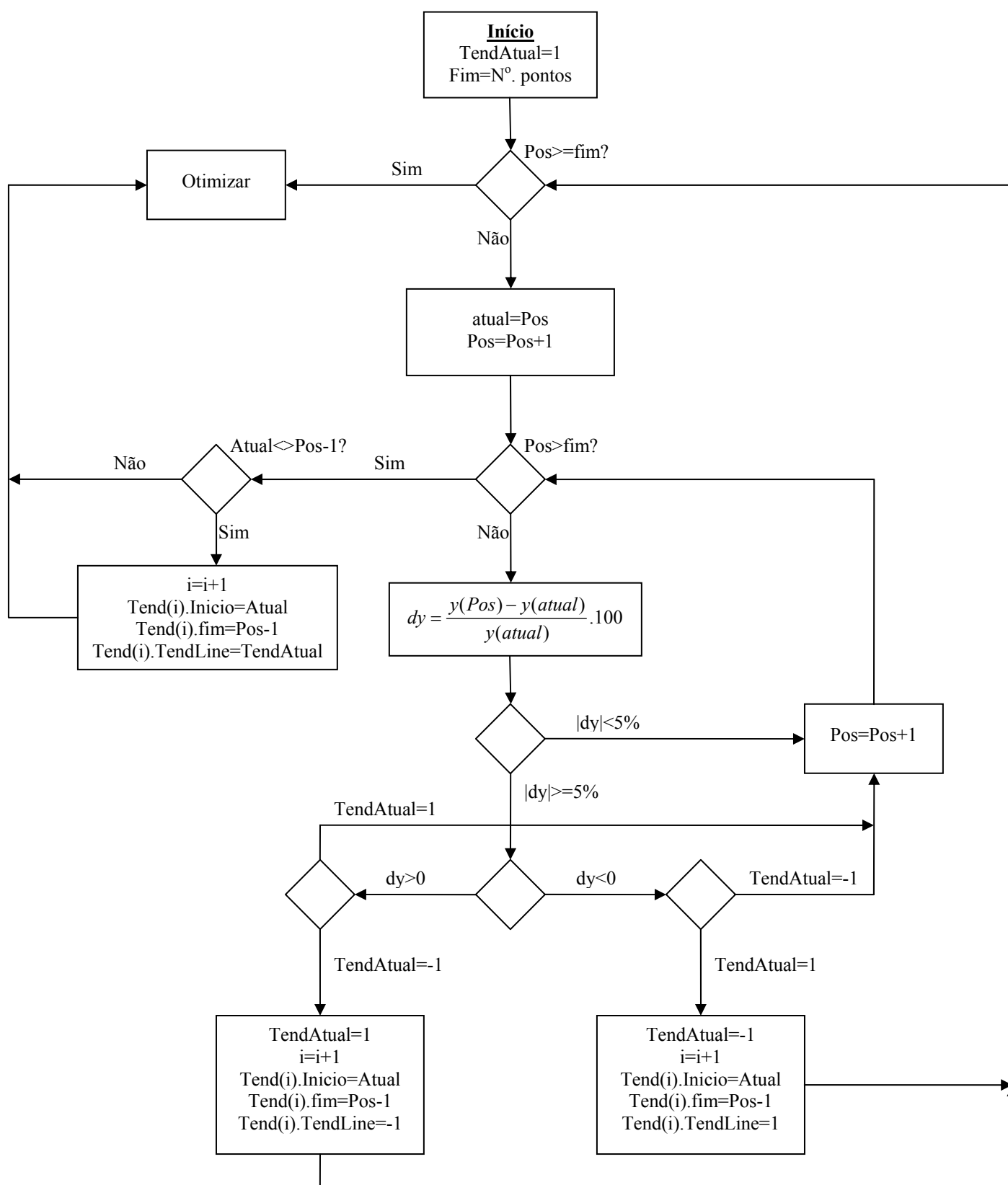


Figura 11 – Fluxograma do algoritmo de extração de passadas do sinal de Potência

As variáveis envolvidas no fluxograma são:

- **TendAtual:** Indica a tendência atual da reta
- **Pos:** Indica a posição do cursor. É utilizado como um ponteiro que percorre os pontos do gráfico da potência
- **Fim:** É igual ao número de pontos do gráfico da potência
- **Atual:** É a posição de referência que será comparada com as outras para encontrar a tendência de acréscimo ou declínio do gráfico.
- **y(pos) e y(atual):** É a amplitude do sinal de potência em função da sua coordenada no tempo (discretizado).
- **dy:** É a variação entre a posição atual e a posição de teste
- **i:** É uma variável usada para incremento e contagem
- **Tend():** É um objeto reta de tendência instanciado dinamicamente como um vetor contendo todas as retas encontradas no sinal de potência.

O fluxograma da Figura 11 tem como fluxo de saída uma rotina chamada Otimizar. A principal função desta rotina é otimizar todas as linhas criadas (retas de tendência), pois durante o algoritmo de extração da reta de tendência pequenas variações podem ser entendidas como retas, o que não é verdade.

O princípio utilizado na rotina de otimização consiste em manter uma alternância, ou seja, sempre após uma reta crescente deve existir uma outra decrescente, formando uma espécie de triângulo que delimita a passada. Nunca deve existir uma reta menor que 5 pontos o que representa um ruído e não uma tendência.

Para otimizar as retas criadas através do algoritmo de reta de tendência, utiliza-se um algoritmo de otimização mostrado na Figura 12.

A Figura 13 mostra as passadas detectadas. Os retângulos de cor amarela mostram o limite superior e inferior das passadas.

As passadas são sempre compostas por duas retas de tendência, sendo a primeira crescente (reta azul da Figura 13) e a segunda decrescente (reta

verde da Figura 13). Um outro ponto importante é que normalmente sempre depois de uma passada válida tem-se um *spark out*, portanto, precisa-se agora saber se a aquisição se inicia com o *spark out* ou com uma passada válida, pois a partir desta informação pode-se saber toda a seqüência seguinte da aquisição.

Para resolver este problema, é realizada uma simples comparação de amplitudes entre passadas próximas, possibilitando facilmente detectar se a passada refere-se ao *spark out* ou não.

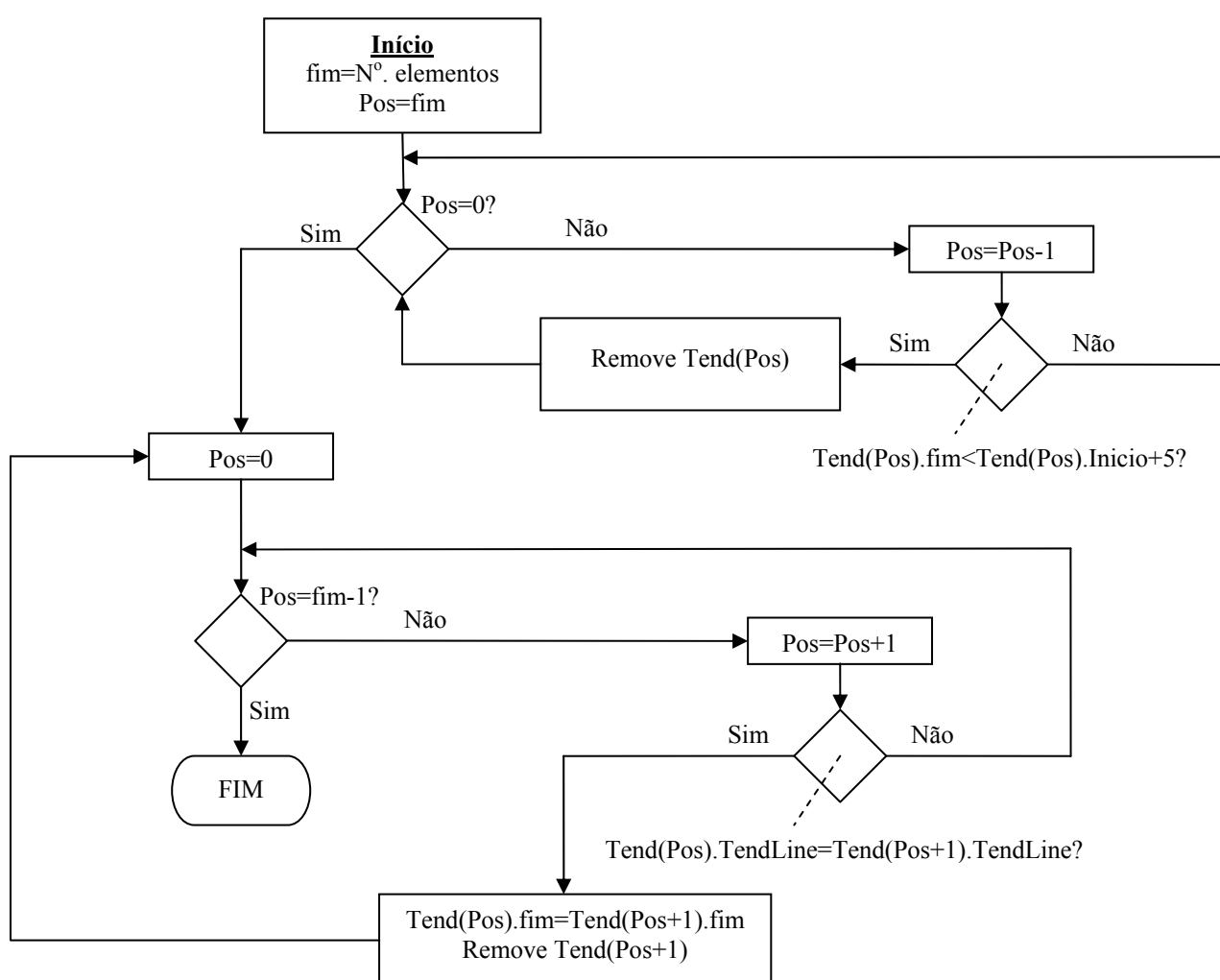


Figura 12 – Fluxograma do algoritmo de otimização na extração de passadas do sinal de Potência

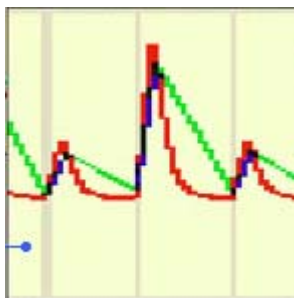


Figura 13 – Resultado do algoritmo de extração de passadas do sinal de Potência

3.3.2 Detecção Automática de Passadas nos Sinais de Emissão Acústica

Para se analisar o algoritmo de detecção de passadas, deve-se analisar anteriormente o formato do sinal de emissão acústica. A Figura 14 mostra os principais parâmetros do sinal de emissão acústica associados à detecção de passadas.

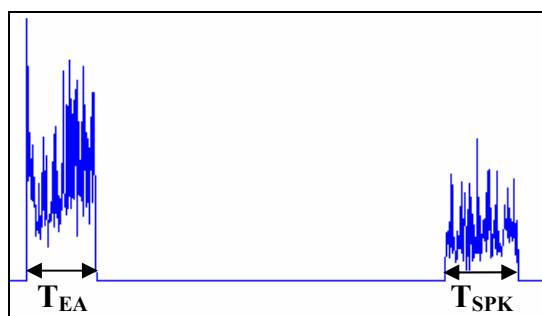


Figura 14 – Forma de Onda do sinal de Emissão Acústica

Sabe-se que o sinal de emissão acústica vem sendo estudado nos maiores centros de pesquisa do mundo, por isso, o número de informações que podem ser obtidas a partir deste sinal é grande. Para este trabalho, limitou-se apenas a considerar 2 parâmetros: T_{EA} e T_{SPK} .

T_{EA} é definido pelo tempo que o sinal de emissão acústica encontra-se presente durante uma passada válida, ou seja, o período enquanto o rebolo retira o material da peça que está sendo retificada. T_{SPK} refere-se ao tempo de *spark out* e normalmente tem valor aproximadamente igual a T_{EA} , pois a peça tem tamanho fixo e a mesa tem velocidade constante.

Durante as análises realizadas pôde-se notar que o sinal de Emissão Acústica tem valor aproximadamente 0 quando o rebolo não está em contato com a peça e valor médio aproximado igual a 1 volt enquanto o rebolo toca a peça. O período T_{EA} também indica o tempo que o rebolo fica em contato com a peça, isto porque não existe atraso na resposta do sensor. A passada a ser extraída deve ter tamanho igual a T_{EA} e T_{SPK} , repetindo este ciclo durante todo o processo de retificação.

Para a detecção de passadas um procedimento bem mais simples que o utilizado na extração de passadas do sinal de Potência Elétrica foi implementado. A Figura 15 mostra o funcionamento do algoritmo de extração de passadas.

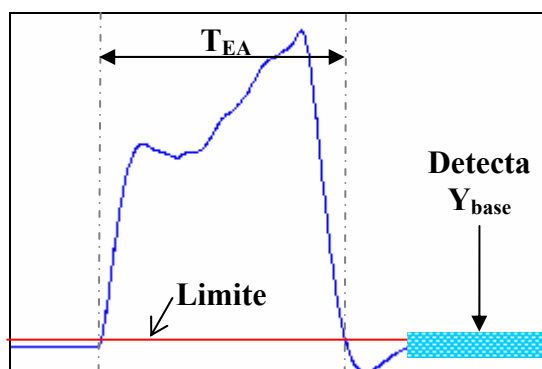


Figura 15 – Princípio de Funcionamento do Algoritmo

Deve-se notar antes de se analisar o algoritmo que o sinal de Emissão Acústica utilizado é filtrado previamente, pois ruídos podem prejudicar o sinal.

Basicamente o algoritmo detecta uma região constante no gráfico de Emissão Acústica antes de iniciar o processo de análise. Esta região é necessária para se encontrar o patamar do sinal de Emissão Acústica quando o rebolo não toca a peça. Na Figura 15, esta região está marcada com um retângulo azul. O algoritmo procura na verdade um conjunto de pontos onde o sinal de Emissão Acústica fica praticamente constante. Através de testes concluiu-se que este número de pontos deve ser aproximadamente igual a taxa de amostragem

dividido por 2, o que representa 0,5 segundo, ou seja, procura-se uma região onde o sinal de Emissão Acústica fique constante por aproximadamente 0,5 segundo.

Quando esta região é encontrada, define-se um parâmetro que foi chamado de Y_{base} que equivale ao valor aproximado da Emissão Acústica quando o rebolo não toca a peça, ou seja, o valor de referência que será comparado para se descobrir quando a passada se inicia ou termina. Este valor é necessário porque toda vez que um sinal é filtrado a sua amplitude varia, portanto, Y_{base} tem que ser definido sempre antes de se extrair as passadas.

Através de Y_{base} defini-se o limite superior igual a $Y_{base}+1\%$. Na Figura 15 este valor está representado por uma linha vermelha horizontal. Em seguida compara-se cada ponto do canal com este limite. Quando o ponto é maior que o limite pré-estabelecido, a passada se inicia e quando o valor do ponto é menor que este limite a passada termina.

Pode-se notar que devido a este limite pré-definido, uma pequena perda de pontos pode ocorrer no início e fim da passada, entretanto, nada que comprometa o resultado da detecção de queima.

A Figura 16 mostra o fluxograma do algoritmo de extração de passadas para o sinal de Emissão Acústica. As variáveis neste fluxograma são praticamente as mesmas do fluxograma da detecção de passadas no sinal de Potência Elétrica.

As variáveis que diferem daquelas descritas no algoritmo de extração de passadas no sinal de Potência Elétrica são:

- **IniPass:** Representa a posição do início da passada.
- **Count:** É um contador que auxilia na descoberta de uma região onde possa ocorrer a extração do parâmetro Y_{base} .
- **Erro:** É verdadeiro quando não existe uma região constante para a extração do parâmetro Y_{base} .
- **Inicio:** Variável auxiliar utilizada no armazenamento do início da posição de busca da região para extração do parâmetro Y_{base} .

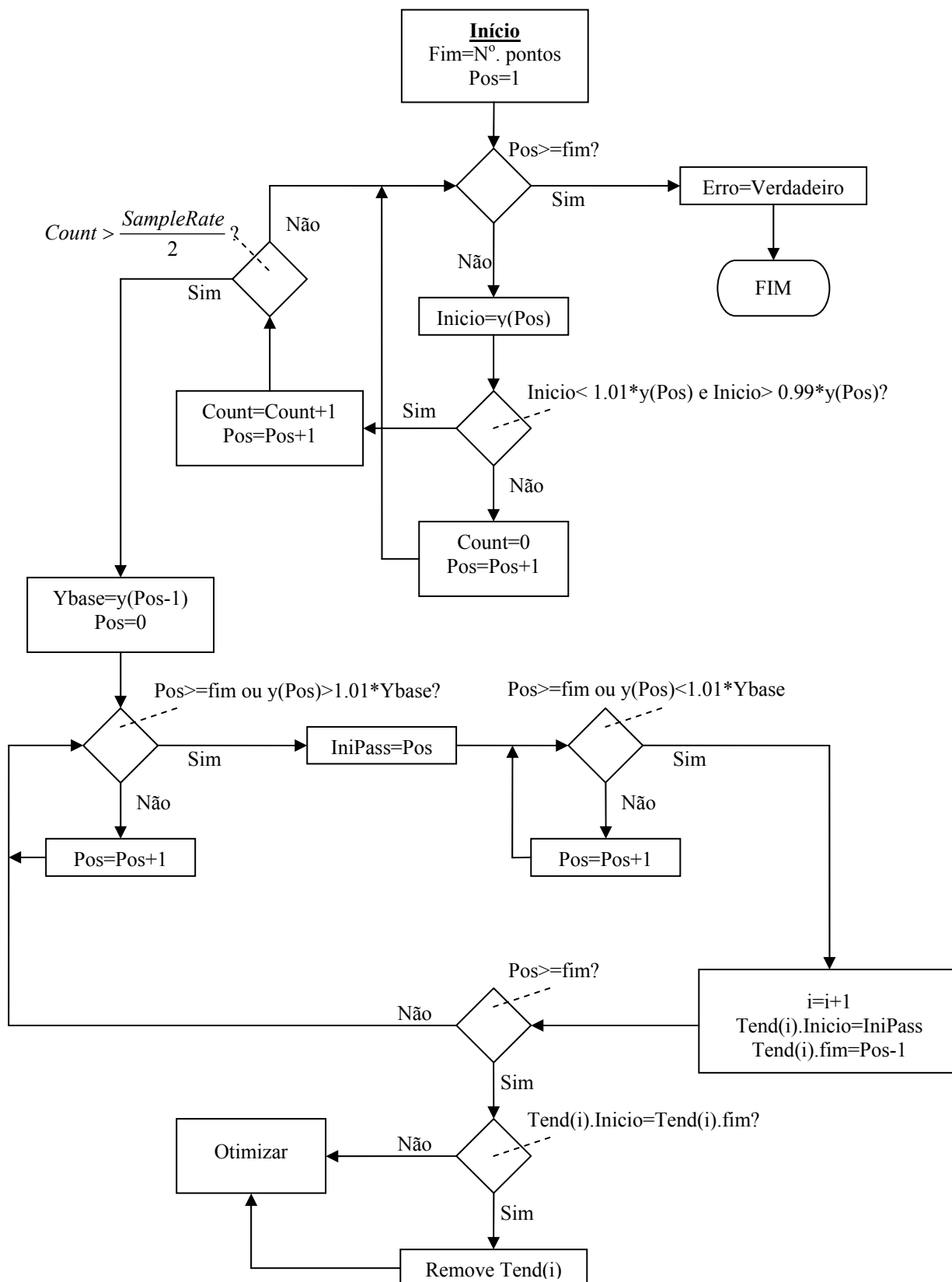


Figura 16 – Fluxograma do algoritmo de extração de passadas do sinal de Emissão Acústica

O objeto usado no armazenamento das passadas extraídas é o mesmo utilizado na extração de passadas do sinal de Potência Elétrica, entretanto, a propriedade TendLine não é utilizada.

Como os sinais são obtidos através de sensores analógicos, tem-se também a possibilidade da ocorrência de interferências que podem ser consideradas como passadas válidas quando na verdade não são. Para resolver tais problemas, um algoritmo de otimização de passadas também se torna necessário para os sinais de Emissão Acústica.

A Figura 17 mostra o fluxograma do algoritmo de otimização utilizado posteriormente ao algoritmo de extração de passadas.

A principal função deste algoritmo de otimização é a retirada de passadas não válidas. Para isso uma checagem é feita em todas as passadas extraídas para verificar se alguma delas tem tamanho menor que 0.5 segundo. Caso isso ocorra, a passada é automaticamente extraída e desconsiderada.

A Figura 18 mostra a ampliação (*zoom*) do resultado da extração de passadas no sinal de Emissão Acústica.

Pode-se perceber nesta figura que as passadas são definidas por um retângulo com linhas da cor verde onde seu interior é pintado com a cor amarela. As linhas verdes do retângulo definem as regiões de início e fim das passadas.

Um outro ponto importante que não foi analisado até o momento é saber se a passada é referente ao *spark out* ou não. Como é possível através do sinal de potência descobrir-se mais facilmente esta informação, não foram implementadas funções para este fim, pois como o sinal de Potência é adquirido simultaneamente com o sinal de Emissão Acústica e os dois algoritmos são processados paralelamente, torna-se desnecessária tal análise.

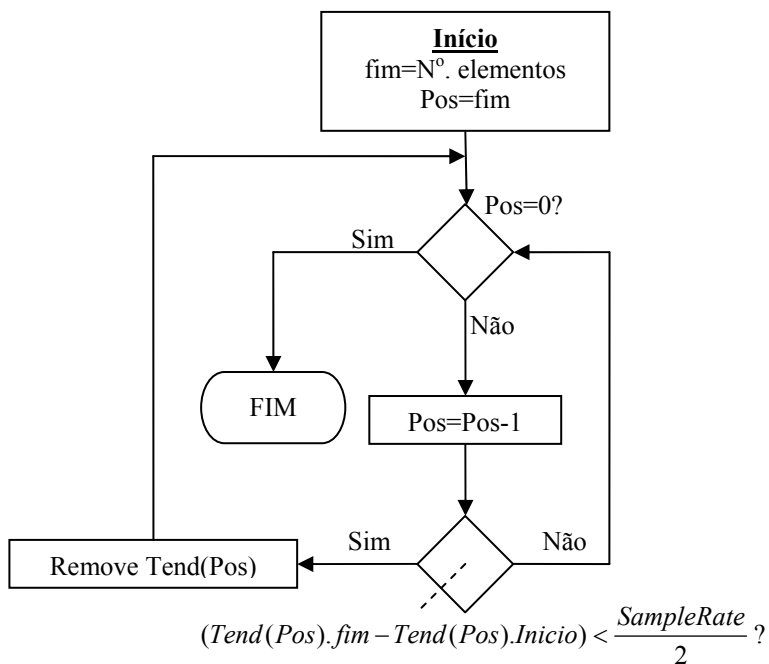


Figura 17 – Fluxograma do algoritmo de otimização de passadas do sinal de Emissão Acústica

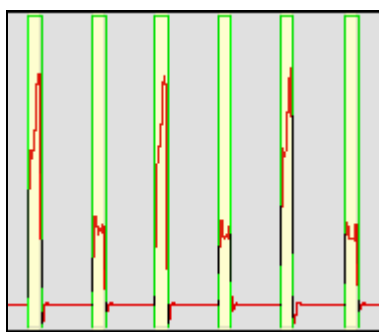


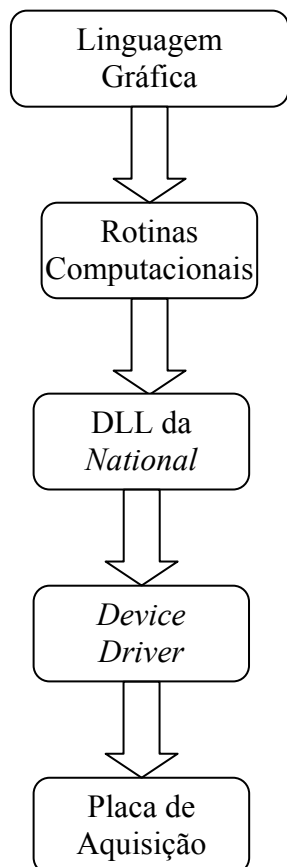
Figura 18 – Resultado do algoritmo de extração de passadas do sinal de Emissão Acústica

3.4. Implementação Computacional das Rotinas de Aquisição de Dados

A implementação computacional de rotinas no *Visual Basic* para a comunicação com a placa de aquisição consiste basicamente do desenvolvimento de algoritmos que realizem uma interface entre o *Visual Basic* e a biblioteca dinâmica (DLL) da *National Instruments*. Esta biblioteca dinâmica contém todas as rotinas necessárias para a comunicação com a placa de aquisição, possibilitando a leitura e escrita de valores analógicos e digitais nas respectivas saídas e entradas da placa além de outras funções que permitem a configuração da mesma.

A utilização do *Visual Basic* nesta comunicação eliminou camadas intermediárias que normalmente são utilizadas por diversos programas e provocam uma redução significativa da velocidade de aquisição além de comprometer o controle preciso da placa. A Figura 19 mostra uma comparação entre o *Visual Basic* e programas com interface gráfica de programação no processo de aquisição de dados.

Interface Gráfica



Visual Basic

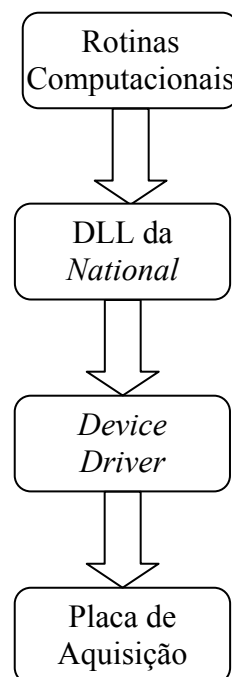


Figura 19 – Diferenças entre o Visual Basic e Programas com Interface Gráfica de Programação

As linguagens gráficas são aquelas que permitem ao usuário construir seu programa através de blocos gráficos. Normalmente estas linguagens facilitam muito a vida do usuário, pois não exigem a inclusão de qualquer código (rotinas computacionais). Este pode ser um ponto positivo, pois em aplicações que demandam rapidez no desenvolvimento do programa, a redução de tempo é muito significativa. Por outro lado, o usuário não sabe exatamente como ocorre a comunicação entre o programa gráfico e as rotinas da placa de aquisição. Um exemplo disso é a inicialização da placa de aquisição que deve ser feita somente uma vez durante um mesmo processo de aquisição, entretanto, a inclusão de um

bloco inoportuno pode provocar a inicialização da placa a cada segundo gerando uma aquisição defeituosa.

É notório que as linguagens gráficas normalmente oferecem recursos avançados que permitem ao usuário configurar cada uma das suas rotinas, entretanto, o usuário deverá ter uma boa experiência e dominar técnicas avançadas de programação.

O *Visual Basic* consegue conversar diretamente com a biblioteca da *National Instruments* e, desta forma, otimizar o tempo de aquisição, possibilitando o controle pleno do processo e evitando operações indesejáveis. Pode-se notar na Figura 19 as etapas envolvidas na comunicação com a placa de aquisição de dados.

Um outro ponto importante na utilização da linguagem *Visual Basic* é a possibilidade de gerar também bibliotecas dinâmicas (DLL). Durante o trabalho todas as rotinas foram construídas dentro de Objetos que podem ser instanciados pelo próprio *Visual Basic* e por outros programas como o *Delphi*, *Visual C*, etc. Esta característica de portabilidade é extremamente útil, pois outros programadores que desejam coletar sinais do Processo de retificação poderão incorporar estes objetos em seus programas sem a necessidade de criar novamente as rotinas de comunicação.

A biblioteca da *National Instruments* possui uma quantidade enorme de funções para comunicação com a placa de aquisição de dados, entretanto, apenas algumas destas funções serão realmente úteis para a aquisição de dados. As principais funções que serão utilizadas na aquisição de dados através da biblioteca dinâmica da *National Instruments* são:

- **DAQ_Rate:** Através desta função é possível definir a taxa de aquisição em que a placa realizará as leituras e escritas analógicas.
- **SCAN_Setup:** Este parâmetro configura a placa de aquisição, permitindo que seja definido o número total de canais que será feita a leitura, bem como o ganho individual e número de cada canal que será adquirido.

- **NIDAQErrorHandler:** Durante todas as operações que são realizadas erros poderão ocorrer. Esta função retorna o número do erro caso ele ocorra em algum momento.
- **SCAN_Start:** Quando esta função é disparada, o processo de aquisição é iniciado. As informações do tempo de aquisição, posição de memória que serão armazenados os dados, etc. são parâmetros que devem ser passados através desta função.
- **DAQ_Check:** Através desta função é possível descobrir se a aquisição já foi finalizada. O Visual Basic sempre deve perguntar para a placa de aquisição se a aquisição já terminou. O método de Loop é a melhor maneira de controlar a placa de aquisição, por isso, foi preferencialmente implementado.
- **SCAN_Demux:** Quando mais de um canal é adquirido ao mesmo tempo, torna-se necessário a demultiplexação destes canais para que o Visual Basic possa tratar cada variável separadamente. Por exemplo, quando uma aquisição é finalizada os sinais de Emissão Acústica e Potência Elétrica ficam misturados e por isso, precisam ser demultiplexados para serem tratados separadamente.
- **DAQ_VScale:** Quando uma aquisição é realizada, os dados que chegam através da placa de aquisição são compostos por valores inteiros de 0 até 65535 (16 bits). Estes valores precisam ser convertidos em tensão (volts). Esta função converte estes valores para uma escala de $\pm 10V$.
- **DAQ_Clear:** Durante o processo de comunicação com a placa de aquisição (dispositivo), um canal lógico é criado, reservando recursos do sistema operacional para que o processo ocorra com segurança. Ao final do processo é conveniente liberar estes recursos para outros aplicativos. Esta função libera os recursos bloqueados para o processo de aquisição.

- **DIG_Prt_Config:** Esta função configura a placa de aquisição para executar operações de escrita e leitura de sinais digitais.
- **DIG_Out_Prt:** Esta rotina ativa ou desativa qualquer uma das saídas digitais. Esta função é usada para avisar ao operador que a queima foi detectada. Um circuito eletrônico com uma lâmpada ou campainha pode ser usado nesta saída.

Como se pode perceber, estas funções facilitam razoavelmente a comunicação entre o *Visual Basic* e a placa de aquisição de dados e, desta forma, toda vez que se tratar de uma operação de aquisição de dados várias destas funções serão utilizadas.

A Figura 20 mostra o fluxograma de um programa de aquisição de dados feito no Visual Basic.

Pode-se notar que este programa simplesmente coleta dados e não os processa. O Processamento dos parâmetros deve ser realizado no intervalo entre aquisições, por isso, todo o cuidado deve ser tomado com o tamanho das rotinas e o tempo de resposta do programa desenvolvido em *Visual Basic*, pois caso o programa torne-se lento, tem-se o comprometimento total da detecção da queima.

As rotinas `DIG_Prt_Config` e `DIG_Prt_Out` não são mostradas no fluxograma porque elas não fazem parte do processo de aquisição de dados, entretanto, todas as ações de saída para avisar o operador que a queima foi detectada foram realizadas utilizando estas duas rotinas.

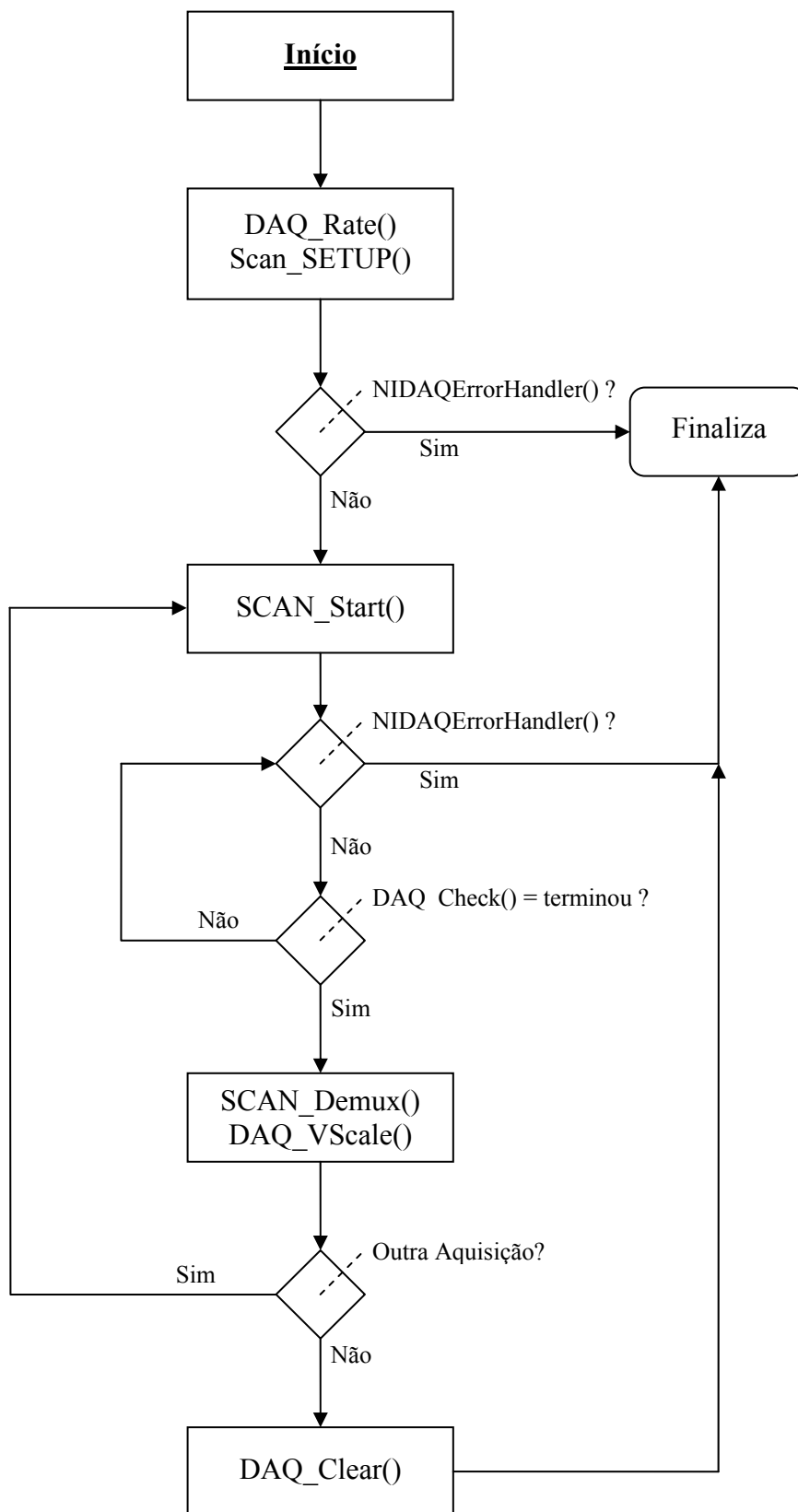


Figura 20 – Fluxograma da Aquisição de Dados Realizada no *Visual Basic*

3.5. Rotinas Computacionais para Acesso Remoto no Visual Basic

O *Basic* é uma linguagem de programação muito poderosa. Desde a época dos minicomputadores esta linguagem vem se difundindo pelo mundo da informática e hoje, sem dúvida nenhuma, através de sua versão visual que permite uma maior interação com o *Windows* (ambos da *Microsoft*), oferece recursos poderosos de interfaceamento com redes de computadores, imagens, som, banco de dados, etc.

Para se construir um programa em *Visual Basic* que acesse uma conexão de rede é necessário a utilização de um conjunto de bibliotecas específicas para este fim, pois o *Visual Basic* não pode acessar as rotinas da placa de rede sem a ajuda do sistema operacional. Mesmo que isso fosse possível, ter-se-iam grandes dificuldades para implementar todas as camadas e serviços do TCP/IP, tornando-se totalmente inviável e difícil tal implementação, entretanto, graças aos avanços tecnológicos e as interfaces que o *Windows* oferece para o programador, pode-se trabalhar em camadas superiores do TCP/IP, deixando o trabalho mais árduo para o sistema operacional.

Como se pode notar na revisão bibliográfica realizada, o protocolo TCP/IP engloba camadas diferentes: Aplicação, Transporte, Inter-Rede e Rede.

Para acessar a Internet com o *Visual Basic*, deve-se inicialmente desenvolver uma aplicação que deverá conversar com a camada de transporte do TCP/IP. A camada de transporte é composta de dois protocolos fundamentais, os quais foram discutidos na revisão bibliográfica: o UDP e TCP.

Na verdade, optou-se por criar uma aplicação em *Visual Basic* do tipo cliente-servidor, pois se acredita ser a mais segura e versátil para este caso. Então, utilizou-se os recursos de *socket* do *Windows*, que oferece um controle *ActiveX* para este tipo de funcionalidade cuja denominação é *Winsock* (ou *socket* para *Windows*).

A aplicação em *Visual Basic* deve, portanto, funcionar como uma aplicação servidora ou aplicação cliente. As diferenças entre cliente e servidor foram mostradas na revisão bibliográfica.

A Figura 21 mostra uma comunicação cliente-servidor utilizando o *Winsock* e o *Visual Basic*.

Pode-se perceber que o *Visual Basic* envia dados para o controle *Winsock* que, em seguida, atua sobre a camada de transporte (protocolos UDP ou TCP). Após esta etapa o sistema operacional se ocupa da montagem dos datagramas e montagem dos pacotes de dados que deverão percorrer a rede física. Quando dados chegam a rede física, o contrário acontece, pois o sistema operacional captura os pacotes e desmonta os datagramas passando para as camadas superiores até chegar no controle *Winsock* que entrega os dados a aplicação em *Visual Basic*.

Para que uma comunicação seja estabelecida entre uma aplicação servidora e a aplicação cliente no *Visual Basic*, as seguintes etapas devem ocorrer:

- A aplicação servidora deve estabelecer uma porta de comunicação, capturar o IP local da máquina (que é definido pelo sistema operacional se o computador estiver conectado na rede e com o TCP/IP devidamente instalado na máquina) e quais dos protocolos devem ser utilizados na camada de transporte: UDP ou TCP.
- A aplicação servidora deve entrar em modo “*listen*” via *Winsock*, esperando que algum cliente seja conectado.
- A aplicação cliente deverá configurar o *Winsock* com a porta remota que deseja acessar (deve ser o mesmo número da porta da aplicação servidora), atribuir o IP da máquina remota que se deseja conectar (no caso deve ser o mesmo endereço IP da máquina que executa a aplicação servidora) e definir o protocolo da camada de transporte: UDP ou TCP que deve ser igual também aquele selecionado na aplicação servidora.
- A aplicação cliente deve ativar o método “*Connect*” do controle *Winsock*, permitindo que a comunicação seja automaticamente estabelecida.

- Quando uma solicitação de conexão é recebida pela aplicação servidora, um canal de comunicação virtual (se usado o TCP) é estabelecido entre a aplicação cliente e a aplicação servidora e dados podem ser trocados entre elas.
- Ao final da comunicação, qualquer uma das aplicações pode solicitar um “*Close Connection*” que todo o processo é desfeito e as aplicações desconectadas com o fechamento das portas.

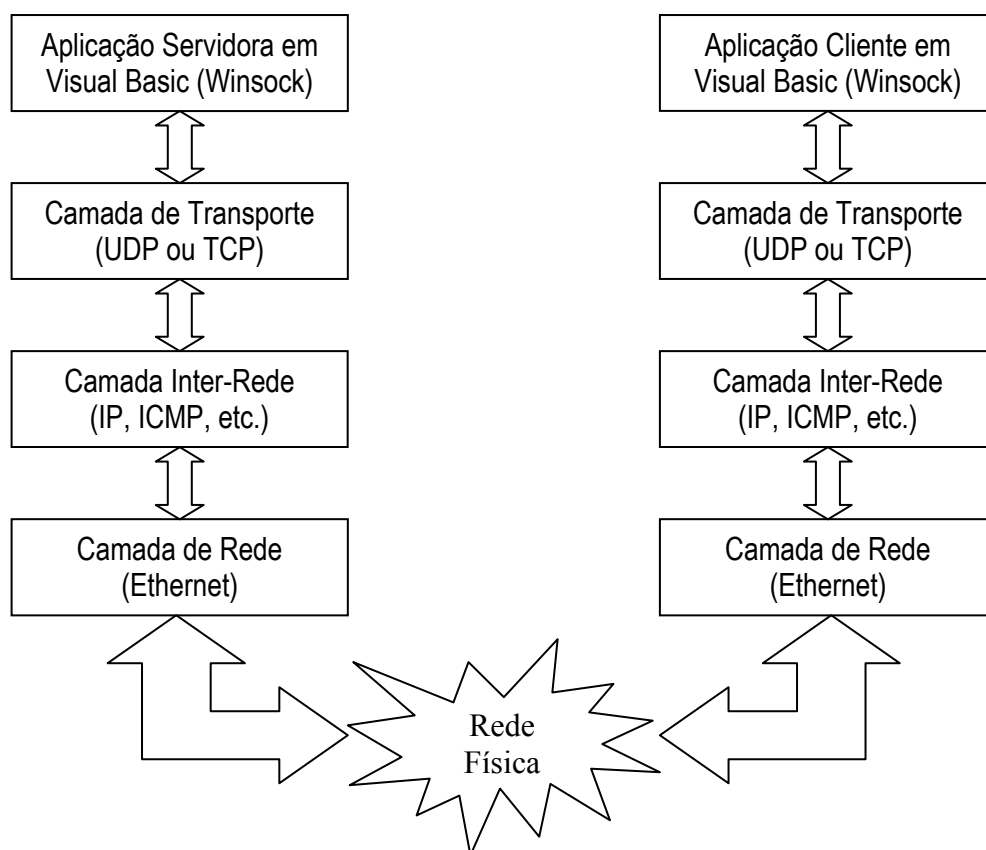


Figura 21 – Comunicação Cliente-Servidor em Visual Basic

A simplicidade de tal processo de comunicação favorece o desenvolvimento de aplicações remotas, pois somente as etapas de aplicação é que devem ser gerenciadas pelo programador.

Conforme se pode notar, existe a possibilidade de utilizar tanto o protocolo UDP quanto o TCP na camada de transporte, pois o controle *Winsock* permite ao programador definir qual ele deseja usar, entretanto, ambos oferecem vantagens e desvantagens durante a conexão.

Neste trabalho optou-se pelo protocolo TCP, pois o mesmo oferece recursos próprios para o tratamento de erro e controle de fluxo, sem a necessidade de qualquer código adicional, entretanto, os pacotes que percorrem a rede devem chegar sempre, pois caso ocorra algum atraso, este será repassado ao sistema que necessita de todos os blocos para montar novamente a informação. Se fosse usado, por exemplo, o UDP, os dados seriam enviados em rajadas e nenhum processamento seria realizado, ficando por conta do programador garantir que os dados estão chegando corretamente.

Um fato importante que deve ser levado em conta é que os dados podem chegar tanto na aplicação cliente como na servidora a qualquer instante, entretanto, devido a um conjunto de eventos do controle *Winsock*, pode-se capturá-los no instante exato em que eles chegam, pois os eventos funcionam como interrupções que interrompem o fluxo do código principal no Visual Basic para atender determinada tarefa. Após o atendimento desta tarefa a execução retorna ao programa principal.

O protocolo de comunicação na camada de aplicação deve ser implementado pelo programador, pois apenas o canal de comunicação é estabelecido utilizando o controle *Winsock*. Desta forma, a criptografia, gerenciamento de comandos, funções de avaliação de usuário e senha devem ser realizados pelo programador na camada de aplicação. Esta característica é muito importante se considerar a gama de aplicações que podem ser desenvolvidas, sendo que para cada uma delas existe um método de acesso diferente com seus respectivos comandos e funções.

3.6. Protocolo Proprietário Desenvolvido no Visual Basic

Como pode ser visto no tópico anterior, o controle *Winsock* oferece recursos que facilitam muito o estabelecimento de um canal de comunicação entre duas aplicações através da Internet.

Por outro lado, os comandos e gerenciamento dos dados na camada de aplicação devem ser feitos pelo programador para garantir um mínimo de segurança para seu sistema, haja vista que qualquer pessoa pode ter acesso à porta de comunicação aberta pelo controle *Winsock*. É importante lembrar que boa parte das invasões ocorrem em sites e aplicativos com serviços conhecidos na Internet. Um exemplo destes serviços são os servidores em geral: HTTP, TELNET, FTP, etc. Um *hacker*, conhecendo os comandos de troca de arquivo de um servidor FTP e suas vulnerabilidades pode invadir uma máquina e danificá-la facilmente.

O objetivo deste tópico foi elaborar um protocolo proprietário e exclusivo para dificultar a invasão do sistema que se tornará um servidor remoto (aplicação servidora) disponível para os usuários do mundo inteiro.

Esse protocolo será implementado sob o controle *Winsock*, validando usuários e checando se a conexão deve ser mantida ou não, dependendo do grau de confiabilidade estabelecido entre o cliente-servidor, ou seja, todos os dados que chegam pelo controle são verificados para avaliar a confiabilidade da sua fonte geradora (cliente).

O método mais empregado atualmente em comunicações via Internet é aquele que utiliza chaves de criptografia. Neste projeto implementou-se parte do protocolo que utiliza criptografia, como pode ser visto na Figura 22.

A aplicação cliente e a aplicação servidora têm suas respectivas chaves privadas. Neste caso as chaves privadas são idênticas e somente o programador sabe, pois foi ele que definiu quando criou os programas. Quando uma solicitação de conexão é recebida pelo servidor (aplicação servidora), o nome de usuário e senha são enviados pelo cliente. Em seguida, a validação é realizada pelo servidor e caso qualquer um dos dois estejam errados a conexão é finalizada e o IP do cliente é armazenado. Se três tentativas forem realizadas sem êxito, o

servidor não mais aceita conexões oriundas daquele IP por quatro horas, impossibilitando assim qualquer invasão por *hackers*.

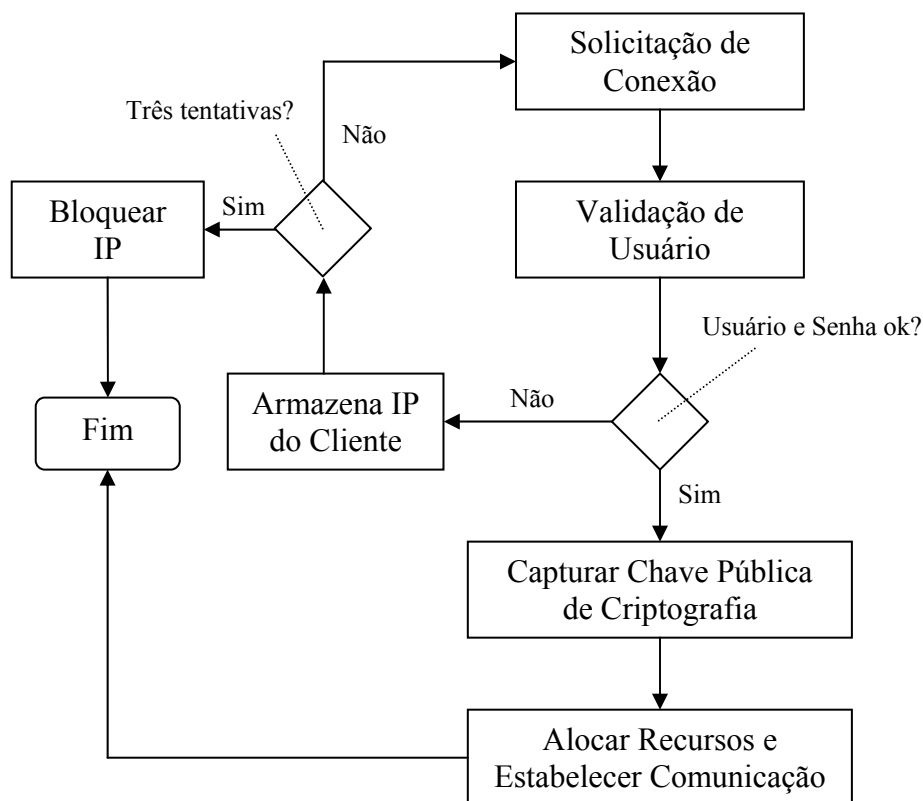


Figura 22 – Algoritmo do Protocolo Proprietário

Caso o usuário e a senha estejam corretos, o servidor solicita ao cliente a sua chave pública. O cliente então envia a sua chave de 128 bits (gerados a partir de um algoritmo que utiliza números aleatórios e a chave privada) ao servidor. Esta chave nada mais é do que um número codificado utilizando um algoritmo próprio de criptografia. Quando esta chave chega ao servidor, ele usa este número como parte do cálculo para “descriptografar” os dados que chegam do cliente e também usa para criptografar dados antes de enviá-los ao cliente. O cliente necessariamente deve conhecer o algoritmo de criptografia para conseguir estabelecer uma comunicação com o servidor.

Caso o cliente não possa criptografar e descriptografar dados que partem e chegam do servidor, o servidor notará o problema e finalizará a comunicação.

Apesar da comunicação cliente-servidor permitir que diversos clientes se conectem simultaneamente ao servidor, decidiu-se que este sistema de acesso remoto permitirá apenas uma conexão, pois para que os dados seja enviados via Internet enquanto o processo de retificação está ocorrendo, deve-se reduzir ao máximo o tempo de captura e envio dos dados. Se fosse permitida a conexão de vários clientes simultaneamente poderia ocorrer um atraso no tempo de processamento e conseqüentemente o comprometimento da detecção da queima on-line.

3.7. Metodologia de Ensaio com o Rugosímetro

O uso do rugosímetro para análise das peças usinadas é muito freqüente, pois se torna possível conhecer a rugosidade e, conseqüentemente os efeitos produzidos pelo processo de retificação na peça.

Na ocorrência da queima, devido aos efeitos térmicos, freqüentemente ocorre mudança na integridade superficial da peça e assim, alterações na rugosidade. Devido a esta característica, a rugosidade vem sendo usada em conjunto com outros parâmetros para quantificar a queima no processo de retificação.

Neste trabalho, utilizou-se um rugosímetro disponível no Laboratório de Usinagem por Abrasão do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da UNESP - Bauru e adotou-se uma metodologia de ensaio para analisar o comportamento da superfície da peça na presença de queima.

A Figura 23 mostra como foram feitas as medidas com o uso do rugosímetro.

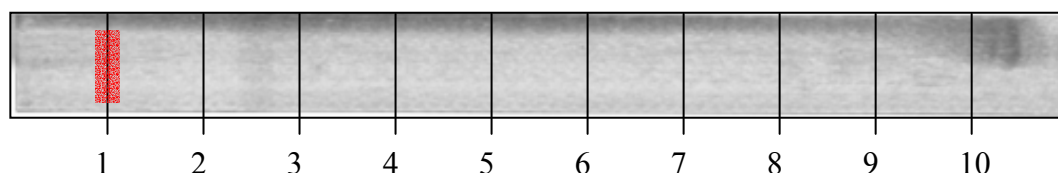


Figura 23 – Medidas de Rugosidade com o Rugosímetro

Na Figura 23 tem-se uma peça que foi analisada através do rugosímetro. Como o aparelho disponível no laboratório da nossa unidade somente consegue realizar leituras em um único eixo, foi necessária a divisão da peça em várias partes para a análise com o rugosímetro. Estas medidas foram feitas por toda a peça, sendo elas espaçadas igualmente uma das outras. Os índices de 1 a 10 na Figura 23 representam a posição do rugosímetro para obtenção das medidas onde a peça foi dividida em 10 partes.

A região marcada com a cor vermelha na Figura 23 mostra a extensão que o braço do rugosímetro percorria para a coleta dos pontos de rugosidade. Nota-se que esta região deveria ser maior para abranger toda a largura da peça, entretanto, isto não era possível porque o deslocamento do braço do rugosímetro era limitado a apenas uma pequena região, deixando, portanto, partes da peça fora da coleta dos dados de rugosidade. Apesar de não representada, esta região marcada em vermelho era definida em todos os pontos de leitura (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10).

Com os pontos coletados o software do rugosímetro efetuava o cálculo do parâmetro Ra para cada um dos pontos de leitura, resultando em um gráfico que representa o comportamento da rugosidade por toda a peça usinada.

3.8. Software para Quantificação Visual da Queima no Processo de Retificação

Um das dificuldades encontradas durante a realização deste projeto foi descobrir um método para avaliar o grau de queima das peças usinadas. Um método muito aplicado para a verificação da ocorrência da queima é a análise da rugosidade da peça através de um rugosímetro, entretanto, este tipo de equipamento precisaria fornecer um gráfico de superfície para se avaliar o comportamento da rugosidade sobre toda a peça usinada. Mesmo com os dados da rugosidade da peça seria necessária uma ferramenta estatística para caracterizar a queima em leve, média e severa, pois somente dessa forma seria possível encontrar o limiar de queima para um determinado parâmetro.

O rugosímetro disponível no laboratório somente apresenta os resultados de uma região linear, por isso, o máximo que se poderia obter é um conjunto de pontos de rugosidade a cada ensaio. Uma série de ensaios necessitaria serem feitos em cada peça para que se extraísse o comportamento da rugosidade da peça e, mesmo assim, um erro extremamente grande estaria condicionado aos ensaios.

Na indústria a forma mais comum de se avaliar a queima é a análise visual, onde o operador a cada etapa de fabricação analisa a condição da peça e verifica se há algum defeito, retirando do processo aquelas que apresentam problemas. Partindo deste princípio, decidiu-se implementar um sistema visual para quantificar a queima, entretanto, não mais utilizando o olho humano como referência e sim um sistema de aquisição de imagem com iluminação controlada.

O grande problema existente hoje na aquisição de imagens é o problema da iluminação, pois se uma câmera, por exemplo, fosse colocada em ambientes de diferentes luminosidades, as imagens coletadas por ela poderiam ser interpretadas de forma incorreta.

Analisando os diversos dispositivos possíveis para se efetuar a análise visual, preferiu-se utilizar o *Scanner* por apresentar uma fonte de luz independente e um posicionamento sempre igual entre o sensor óptico e a superfície de leitura.

Através do processamento da imagem pelo *Scanner* obteve-se diversas figuras em formato *bitmap*. Cada figura representaria uma peça processada pelo *Scanner*, onde as cores que compõem as imagens se mantêm sempre sobre o mesmo padrão (graças à iluminação controlada).

Após o processamento da imagem, seria necessária uma análise estatística para caracterizar a queima e, assim, tentar descobrir a porcentagem da peça que realmente sofreu alterações em sua estrutura. Sabe-se, entretanto, que somente uma análise visual não poderia garantir que a peça não sofreu queima, mas por outro lado, sabe-se também que na maior parte das vezes ocorre mudanças na coloração da peça. Desta forma, a abrangência desta análise será muito grande, mas não total, pois em alguns casos a queima poderá ter ocorrido e a peça não ter sofrido alteração visual.

Mesmo com o software para quantificação da queima, a análise da rugosidade foi mantida para que uma comparação pudesse ser realizada. Estes resultados serão apresentados no capítulo “Resultados Obtidos e Discussões”.

A Figura 24 mostra a aparência do software para quantificação da queima no processo de retificação.

Conforme pode ser notado, o software possui uma série de campos que mostram diversas informações. Após a conversão da peça em imagem através do *Scanner*, pode-se abri-la no software para realizar as análises, bastando para isso acessar o menu “Arquivo” e então “Abrir”.

A Figura 24 mostra a foto de uma peça que se deseja processar. A foto deve estar no formato “tons de cinza”. É possível perceber também a existência de uma barra de cores (também em tons de cinza).

Para este software ser construído foi necessária uma série de ensaios para definir padrões de cores para as queimas leve, média e severa. Através destes padrões rigorosamente definidos, foi possível se estabelecer limiares estatísticos de análise que ao serem aplicados na peça geram uma região de queima.

A “Barra de Cores” permite a modificação do limiar entre as situações de queima e não queima, entretanto, como já existe um padrão pré-definido, não é necessária a sua alteração por meio desta barra.

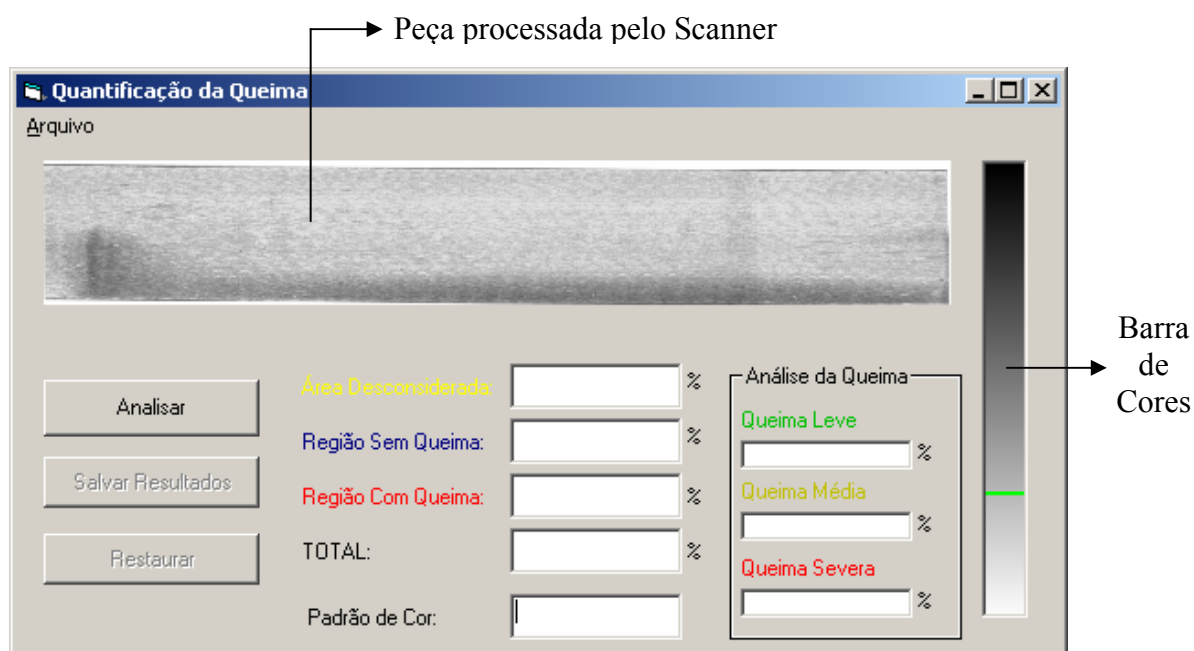


Figura 24 – Software Quantificação de Queima

Ao se pressionar o botão “Analisar”, a análise dos dados é iniciada. A Figura 25 mostra os resultados obtidos nessa análise.

Pode-se notar que as cores da foto foram modificadas. Após o processamento, as regiões da peça que se encontram na cor azul refletem a situação de não queima. A região em vermelho representa as partes da peça que sofreram algum tipo de queima, seja leve, média ou severa. A cor amarela representa regiões que são desconsideradas, ou seja, como a peça não é perfeitamente regular, as partes que não pertencem a peça (fundo) durante o processo de “*scaneamento*” ficam na cor branca e o software as desconsidera durante os cálculos estatísticos.

Como resultado tem-se 5 campos principais e três específicos para a situação de queima.

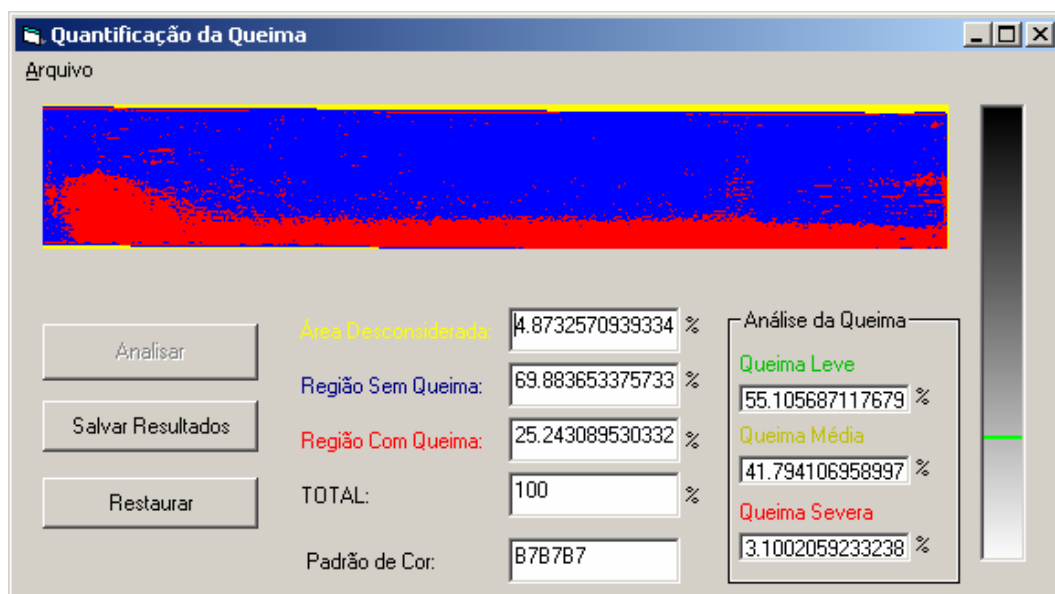


Figura 25 – Resultados Obtidos do Software Quantificação de Queima

Os campos “Área Desconsiderada”, “Região Sem Queima” e “Região Com Queima” mostram a porcentagem da peça que se enquadra em cada uma dessas situações, ou seja, se o campo “Região Com Queima” tem valor igual a 25,24%, sabe-se que em aproximadamente 25% da peça houve algum tipo de queima.

O campo “TOTAL” retorna a soma das porcentagens dos campos acima que deve ser sempre 100%.

No campo “Padrão de Cor” é mostrada a cor de referência para a análise da situação de queima, ou seja, cores mais escuras que este padrão representam uma situação de queima.

Os campos “Queima Leve”, “Queima Média” e “Queima Severa” refletem a porcentagem do grau de queima da região que sofreu queima, ou seja, em 55% da região que sofreu queima, o grau foi leve. Por outro lado, em somente 3% da região da peça que sofreu queima o grau apresentado foi severo.

Os resultados apresentados podem ser salvos em arquivos simplesmente pressionando o botão “Salvar Resultados”.

O botão “Restaurar” recarrega a imagem original para que possa ser refeito o processamento.

No capítulo “Resultados Obtidos e Discussões” serão mostrados todos os resultados obtidos através deste software e também uma comparação entre este método e a análise da rugosidade.

3.9. Banco de Ensaios

Para a definição do banco de ensaios foi utilizada a configuração mostrada na Figura 26.

Através dos módulos de Emissão Acústica e Potência Elétrica do Motor, os sinais são captados dos sensores e levados até a placa de aquisição de dados da *National Instruments* onde são convertidos para digitais e, então processados pelo software *Grinding Analyses*.

O modelo da placa da *National Instruments* é PCI 6035E que tem 16 entradas analógicas de 16 bits, 2 saídas analógicas de 12 bits e 8 canais digitais de entradas e saídas. A taxa de aquisição desta placa pode chegar a 200.000 amostras por segundo, sendo mais do que suficiente para o caso proposto. A precisão desta placa é de aproximadamente 0,00015 volts (1 LSB) além de apresentar pouca sensibilidade na presença de ruídos. Esta placa foi instalada num microcomputador do tipo PC AMD XP 1800 com 128MB de memória RAM. A taxa de amostragem utilizada nos ensaios foi de 10000 amostras por segundo.

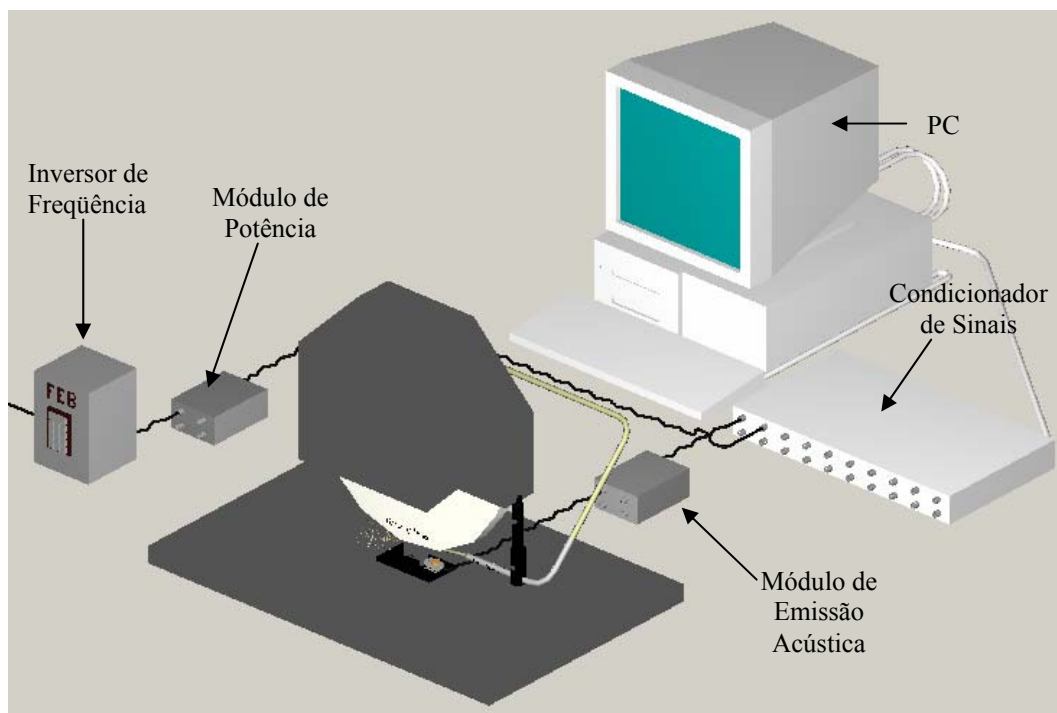


Figura 26 – Montagem do Banco de Ensaio

Para a medição de potência elétrica do motor de indução trifásico de 7,5 cv, responsável pelo acionamento do eixo árvore da retificadora, utilizou-se um módulo contendo um sensor de efeito *Hall* do fabricante *Nana Eletronics Co., Ltda* e um transdutor piezelétrico de tensão. O motor é alimentado por um inversor de frequência de 380V e 7,5 cv do fabricante *WEG*, e por isso, optou-se por medir a potência na entrada deste inversor, mesmo sabendo que esta potência não corresponde à consumida pelo motor, entretanto, na presença da força de corte a potência tende a variar e normalmente os parâmetros de queima captam este tipo de variação.

A emissão acústica gerada no processo de retificação foi medida por intermédio de um sensor do tipo piezelétrico do fabricante *Sensis* (modelo BM12) acoplado ao suporte próximo à peça para garantir uma aquisição de sinais livre de ruídos indesejáveis. Este sensor é então ligado num módulo também da *Sensis* que calcula o valor RMS deste sinal (com tempo de integração de 1ms). Este sinal RMS calculado é então entregue a placa de aquisição de dados.

A Figura 27 mostra a aparência do módulo de Potência Elétrica e a Figura 28 mostra a aparência do módulo de Emissão Acústica.



Figura 27 – Módulo de Potência



Figura 28 – Módulo de Emissão Acústica

Um ponto importante que foi considerado sempre constante para não variar a amplitude do sinal de Emissão Acústica é a posição do sensor piezo-elétrico que foi preso no suporte de fixação da peça, conforme pode ser visto na Figura 29.



Figura 29 – Posicionamento do Sensor Piezo-Elétrico

Para a definição dos patamares de queima, realizou-se a aquisição dos sinais para depois realizar o processamento. Com isso podem-se efetuar comparações entre os diversos parâmetros conforme pode ser visto nos tópicos a seguir.

O aço utilizado nos corpos de ensaio (peça) foi o ABNT1045 e o VC131. Ambos os aços foram temperados para aumentar sua dureza, onde se obteve 32 HRC para o aço ABNT 1045 e 53 HRC para o aço VC131. As peças utilizadas neste trabalho possuem a forma de um prisma retangular de dimensões de 98,65 mm de comprimento, 48,79 mm de altura e 8,67 mm de largura. O rebolo utilizado foi de Óxido de Alumínio modelo NORTON AA46M6V.

A máquina retificadora utilizada para a Retificação Tangencial Plana é do fabricante Sulmecânica modelo 1055E e faz parte do Laboratório de Usinagem por Abrasão do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da UNESP – Bauru.

O fluido de corte adotado nos ensaios definitivos foi do tipo emulsão (concentração 5%), disponível no Laboratório de Usinagem por Abrasão do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da

UNESP – Bauru e o dressador usado nas operações de dressagem foi do tipo *flease*.

3.9.1. Montagem do Banco de Ensaio

A experimentação neste trabalho visa à aquisição de dados experimentais durante a operação de retificação tangencial plana, para posterior análise do comportamento dos parâmetros de queima e definição dos seus limiares.

Para que um ensaio seja completo e obtenha sucesso, devem-se seguir as seguintes etapas: ajustes iniciais e correto posicionamento dos equipamentos, dressagem, determinação da velocidade ideal de dressagem, operação de dressagem e ensaio para remoção de material até a ocorrência da queima.

O corpo de prova ensaiado foi parafusado a um suporte de fixação. O suporte possui entre o corpo de prova e a mesa uma parte de nylon para evitar que vibrações indesejáveis interfiram na aquisição de sinais de emissão acústica.

No início do ensaio o suporte foi colocado na mesa da retificadora e alinhado paralelamente a superfície lateral do rebolo. Este procedimento foi utilizado para uniformizar as condições diante de todos os ensaios realizados.

Após o alinhamento, o magneto deve ser ligado para garantir uma fixação segura, prevenindo desta maneira que, com o movimento da mesa e o contato com o rebolo, a peça não se desloque comprometendo os resultados do ensaio.

A Figura 30 mostra o corpo de prova preso ao suporte e posicionado na máquina pronto para os ensaios.

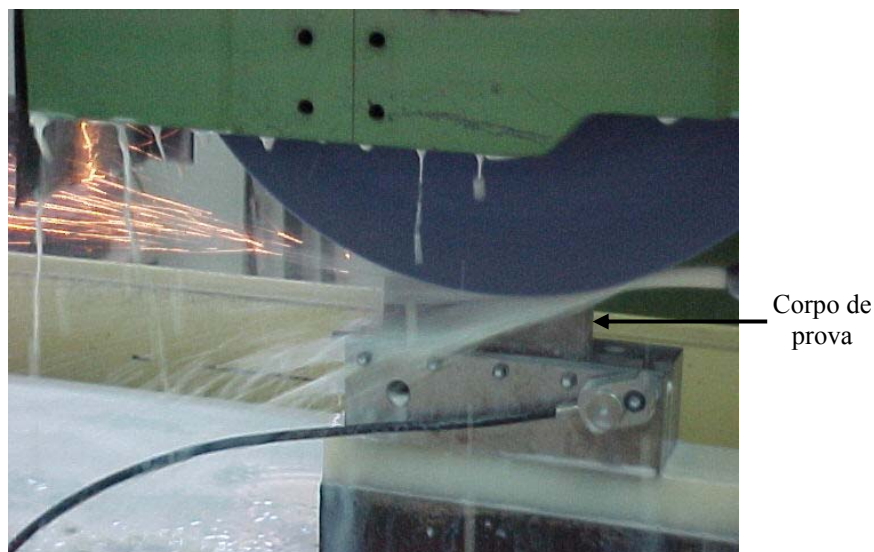


Figura 30 – Corpo de prova posicionado na mesa retificadora.

Após o posicionamento correto do corpo de prova, a superfície a ser usinada deve ser nivelada, pois apresenta irregularidades que podem alterar a distribuição da força de corte na interface rebolo-peça. Caso esta operação seja ignorada, tem-se uma região da peça onde o volume removido será maior e, conseqüentemente a potência e a força necessária para esta operação também. Outra região com características opostas podem até mesmo apresentar ausência de forças dependendo do avanço fornecido.

Para uniformizar a superfície deve-se fornecer um avanço gradual, da ordem de microns, do rebolo em direção à peça. A velocidade da mesa deve ser baixa. Assim que o rebolo usinar por igual toda a superfície, deve-se finalizar a operação. Este procedimento deve ser repetido para todos os corpos de prova antes de cada ensaio.

3.9.2. Balanceamento do Rebolo

Antes de montar o rebolo na máquina ele deve ser balanceado. Qualquer desbalanceamento pode provocar vibrações indesejáveis durante a retificação. Estas vibrações, além de prejudicar a operação em si, provocam

alterações nos sinais de emissão acústica. Esta entrada interferente dos sinais de emissão acústica no sensor prejudica a posterior análise dos dados.

Para balancear o rebolo, nivela-se o suporte mostrado na Figura 31 em uma mesa comparadora totalmente plana, por intermédio de um nível.



Figura 31 – Suporte utilizado no balanceamento do rebolo

O rebolo deve ser acoplado a um pequeno eixo e colocado no suporte. O procedimento de balanceamento é o seguinte: uma força é aplicada manualmente ao rebolo para que ele percorra o comprimento do suporte girando. Se, logo após parar, o rebolo tender a voltar, ele não está balanceado. Sendo assim deve-se rearranjar a posição das pequenas massas de metal presas a flange do rebolo para anular qualquer distribuição irregular de massa que esteja provocando o desbalanceamento. A Figura 32 mostra as massas presas à flange do rebolo.



Figura 32 – Massas de metal utilizadas para balancear o rebolo

Este método de tentativa e erro foi repetido até que o rebolo, ao parar depois de estar girando, não tendesse a voltar, não indicando, assim, a presença de desbalanceamento.

3.9.3. Operação de Dressagem

Para este trabalho, foi utilizado um dressador de diamantes conglomerados em liga metálica, pois, devido a sua constituição, proporciona maior robustez e durabilidade, trazendo vantagens de custo e substituição das ferramentas com diamantes naturais.

O movimento transversal do rebolo foi controlado por um inversor de frequência de 220V que aciona um motor de 2 cv do fabricante *WEG*. Por intermédio deste inversor pode-se variar a velocidade transversal do rebolo variando a frequência no painel. Assim, para ajustar a velocidade correta de dressagem em relação ao tempo de dressagem calculado anteriormente, foram feitos testes medindo o tempo em que o dressador percorria a largura do rebolo a uma determinada frequência do inversor. Quando este tempo apresentou valor muito próximo ao calculado, adotou-se este valor para realização de posteriores operações de dressagem.

Antes da realização dos ensaios, deve-se uniformizar a superfície do rebolo. Para isso, deslocou-se o dressador várias vezes paralelamente à superfície do rebolo em movimento com determinado avanço a cada passada. A operação deve ser repetida algumas vezes sem um limite fixo de parada, dependendo apenas do valor do avanço fornecido à máquina.

3.9.4. Determinação da Velocidade de Deslocamento Longitudinal da Mesa (V_w) e da Velocidade de Corte (V_s)

Para verificar a velocidade de deslocamento longitudinal da mesa retificadora (V_w) utilizou-se um tacômetro com acessório já calibrado para medir velocidade linear. Como o acionamento da mesa é feito por um circuito hidráulico, houve uma pequena variação de uma medida para outra. O valor médio obtido foi de 4,9 m/min.

Antes do início dos ensaios, a mesa foi acionada e deixada funcionando sem usinar a peça para que a temperatura do óleo se uniformizasse e não alterasse a viscosidade do mesmo e, conseqüentemente, a velocidade de deslocamento.

A velocidade de corte V_s foi calculada conforme a seguinte equação:

$$V_s = \frac{2.\pi.n.r}{60} \quad (10)$$

onde:

n é a velocidade angular do rebolo em rpm

r é o raio do rebolo em metros.

A velocidade angular do rebolo foi medida por intermédio de um tacômetro e o valor encontrado foi de 1780 rpm para uma freqüência de 60 Hz no inversor. O diâmetro do rebolo foi medido por intermédio de um paquímetro digital e o valor encontrado foi de 340,2 mm. Com estes valores calculou-se a velocidade de corte pela equação 10 encontrando-se o valor de 32,06 m/s. Os valores de V_w foram mantidos fixos para todos os ensaios.

3.9.5. Operação de Usinagem

Ajustada a velocidade de deslocamento da mesa, deve-se posicionar corretamente o corpo de prova sob o rebolo, tomando-se o cuidado de deixar a peça na extremidade da largura do rebolo para que o restante desta largura fosse utilizada nos ensaios posteriores. De acordo com a largura do rebolo, foi possível realizar quatro ensaios sem que fosse necessária a operação de dressagem.

Um segundo ajuste a ser feito é deixar o rebolo tangente ao corpo de prova. Isto foi feito pintando toda a superfície da peça com um pincel atômico e aplicando-se avanços pequenos até que toda tinta fosse retirada ao longo da peça. Os avanços fornecidos devem ser sutis para não modificar demasiadamente os efeitos da dressagem antes que se comece o ensaio.

Antes de iniciar cada ensaio, preparou-se o software de aquisição (*Grinding Analyses*), deixando um espaço suficiente para o armazenamento dos dados e posterior análise dos parâmetros.

Capítulo 4. Resultados Obtidos e Discussões

O desenvolvimento de um software computacional para detecção de queima não seria importante se não houvesse a possibilidade de retirar resultados para comprovar a sua eficácia. Desta forma, torna-se necessário à análise e comparação de resultados para validá-lo e assim, ajustá-lo para um ponto ótimo de trabalho.

Este capítulo aborda os resultados obtidos durante a operação do software bem como a descoberta de novos parâmetros de queima que puderam ser construídos graças a esta nova plataforma computacional denominada *Grinding Analyses*.

Após a obtenção dos dados através da aquisição de sinais, tornou-se possível à comparação dos diversos parâmetros de queima o que possibilitou um avanço significativo na detecção da queima no processo de retificação tangencial plana. Estes novos parâmetros contribuíram de forma impar para uma melhoria no Processamento Digital de Sinais na área de retificação.

4.1. Problemas na Aquisição e Processamento de Dados em Tempo Real

O conceito de tempo real é muito questionado quando se utiliza o sistema operacional Windows. Isso acontece porque o Windows nas versões 95, 98, ME, NT e 2000 não oferecem recursos satisfatórios para aquisição e processamento em tempo real. Normalmente quando se precisa controlar processos em tempo real utilizam-se outros sistemas operacionais como o Unix, Linux, ou até mesmo o Windows na versão Windows CE. Podem-se levantar pontos positivos e negativos em relação ao projeto do software em *Visual Basic* que foi desenvolvido. São eles:

- A taxa de aquisição de dados necessária ao processo não precisa ser superior a 10000 amostras por segundo, pois conforme testes

realizados, os sinais envolvidos têm componentes em frequências bem menores.

- O *Visual Basic* é uma linguagem compilável, entretanto, depende de bibliotecas comuns ao Windows. Desta forma, o tempo de execução de um programa pode variar de máquina para máquina, por isso, não se pode garantir altas taxas de processamento.
- Como se trabalha com ambientes criados pelo mesmo fabricante, a *Microsoft*, tanto o *Visual Basic* como o *Windows* tem compatibilidade 100% o que aumenta a performance.
- Como o *Visual Basic* utiliza uma biblioteca dinâmica para se comunicar com a placa de aquisição de dados, o tempo de aquisição depende das rotinas desenvolvidas pela *National Instruments* que são extremamente otimizadas, o que garante boa taxa de aquisição.

Partindo de todos estes questionamentos decidiu-se utilizar o sistema operacional Windows 2000, pois como este sistema foi desenvolvido para garantir segurança e processamento de programas na forma de processos, torna-se possível executar um aplicativo como um processo e assim definir a prioridade do mesmo.

Desta forma, utilizando APIs (*Application Program Interface*) do *Windows* conseguiu-se executar o programa de aquisição de dados com um grau de prioridade alto, garantido a maior velocidade possível durante a execução do programa. Não se pode assim afirmar que este programa executa em tempo real, mas pode-se dizer com certeza que ele é capaz de detectar a queima On-Line, ou seja, enquanto o processo de retificação ocorre.

Um fator que contribuiu com o desempenho do software foi as rotinas da biblioteca dinâmica da fabricante *National Instruments*, pois quando o processo de aquisição é iniciado através da função `DAQ_Start()`, o software desenvolvido em *Visual Basic* não fica travado aguardando a execução desta

função. A rotina desenvolvida pela *National Instruments* possibilita que enquanto a aquisição ocorra, o software processe informações de forma paralela.

Sendo assim, o software foi otimizado para garantir que enquanto aguarda o fim da aquisição realizada pelas rotinas da fabricante *National Instruments*, o processamento dos parâmetros seja feito paralelamente, não comprometendo tempo algum entre intervalos de aquisição. É notório que o processamento dos parâmetros jamais podem ocorrer em tempo superior a aquisição de dados, pois caso isto ocorra, haverá um comprometimento dos dados e conseqüentemente do cálculo dos parâmetros.

4.2. Novos Parâmetros de Queima no Processo de Retificação Tangencial Plana

A detecção da queima no processo de retificação tangencial plana é normalmente realizada através do emprego de parâmetros de queima que são equações matemáticas que descrevem o processo baseado em informações oriundas de sensores devidamente colocados na máquina retificadora.

Estes parâmetros normalmente relacionam dois ou mais sinais como Emissão Acústica (RMS ou sinal puro), Potência, Temperatura, Velocidade, etc. Estes sinais são coletados através de uma placa de aquisição de dados e então processados, entretanto, cada parâmetro consegue abranger apenas um conjunto limitado de situações e, por isso, a cada condição de usinagem uma nova análise é necessária para se encontrar o melhor parâmetro que descreve o comportamento da queima.

O objetivo deste trabalho é detectar a queima durante o processo de retificação, implementando parâmetros que já são de conhecimento da comunidade científica como o DPO e o FKS, entretanto, graças ao software desenvolvido tornou-se possível à descoberta de outros parâmetros que ofereceram melhores resultados em algumas situações ou até mesmo contribuíram para certificar a ocorrência da queima em casos onde os parâmetros conhecidos provocavam dúvidas.

Os parâmetros implementados de conhecimento da comunidade científica são o DPO e o FKS apresentados na revisão bibliográfica. Os parâmetros DPKS, DAREA e DIFP são parâmetros novos que foram propostos durante a realização deste trabalho. É importante salientar que todos os parâmetros implementados relacionam dois sinais: a Emissão Acústica RMS e o sinal de Potência Elétrica do motor que aciona o rebolo. Esta limitação foi utilizada para definir uma forma de comparação entre os diversos parâmetros, pois se fosse utilizado parâmetros que relacionam grandezas diferentes se tornaria difícil tal comparação.

Os próximos tópicos abordarão cada um dos novos parâmetros utilizados na detecção da queima, apresentando a sua representação matemática.

4.2.1. Parâmetro DPKS

O parâmetro DPKS surgiu da necessidade de se aumentar a sensibilidade do parâmetro DPO e do FKS, entretanto, sem necessariamente se preocupar com a sua amplitude e sim com a variação entre as passadas. Através deste parâmetro, pretende-se encontrar o momento exato onde a queima teve início.

O DPKS é calculado pelo desvio padrão da Emissão Acústica multiplicado pela somatória da potência subtraída do seu desvio padrão elevado à quarta potência.

A expressão 11 representa o parâmetro DPKS.

$$DPKS = \left(\sum_{i=1}^{i=m} (POT(i) - S(POT))^4 \right) * S(EA) \quad (11)$$

onde,

i é o índice da potência que varia de 1 até m pontos de cada passada;

m é o número de pontos da passada;

$POT(i)$ é o valor instantâneo da potência;

$S(POT)$ é o desvio padrão da potência na passada;

$S(EA)$ é o desvio padrão da Emissão Acústica RMS da passada;

É possível notar que esse valor aumenta dependendo do número de pontos obtidos na passada e pode variar muito, pois, graças a esta variação que pode chegar a mais de cem vezes é possível destacar com precisão o momento que a queima se inicia. O método utilizado para a construção deste parâmetro foi totalmente empírico.

Na verdade, este parâmetro foi criado com base no DPO e FKS, por isso seu nome é uma junção destes dois.

4.2.2. Parâmetro DAREA

Considerando que o parâmetro DPKS procurou refletir o momento que a queima se iniciou, tornou-se necessário saber em qual passada a queima foi a mais severa e, para isso, usou-se uma relação exponencial entre a potência e o sinal de emissão acústica RMS.

O parâmetro DAREA é calculado pela somatória do sinal de potência elevado pela somatória do sinal de Emissão Acústica RMS normalizado.

A expressão 12 representa o parâmetro DAREA.

$$DAREA = \left(\sum_{i=1}^{i=m} POT(i) \right)^{\sum_{i=1}^{i=m} \left(\frac{EA(i)}{EAMAX} \right)} \quad (12)$$

onde,

i é o índice que varia de 1 até m pontos de cada passada;

m é o número de pontos da passada;

$POT(i)$ é o valor instantâneo da potência;

$EA(i)$ é o valor instantâneo do sinal de Emissão Acústica RMS;

$EAMAX$ é o valor máximo de Emissão Acústica RMS na passada;

Mais uma vez a amplitude do sinal não tem significado matemático, mas a variação da amplitude deste parâmetro indica onde houve ocorrência da queima severa.

4.2.3. Parâmetro DIFP

Dentre os diversos parâmetros desenvolvidos, pode-se considerar este como um parâmetro extremamente promissor, pois apresenta características muito próximas do DPO, entretanto, este não envolve a potência máxima e sim a sua variação.

Considerar a amplitude do sinal de potência no cálculo de um parâmetro pode comprometer a sua análise. Isto porque o sinal de Potência depende dos valores de tensão e corrente obtidos através da rede elétrica. Além do valor de potência poder alterar sua amplitude dependendo da forma de onda presente na rede elétrica (tensão ou corrente), torna-se necessário redefinir o parâmetro para cada diferente tipo de motor que for utilizado para girar o rebolo, deixando assim o sinal da potência muito susceptível a variações do meio.

Quando a análise é realizada com base na variação da potência este tipo de problema é reduzido, deixando o sistema como um todo mais estável. Baseado neste conceito utilizou-se o método de extração de passadas (ver capítulo material e métodos) do sinal de potência para fornecer dados ao cálculo deste novo parâmetro de queima. A Figura 33 mostra a definição automática de passada em um sinal de potência.

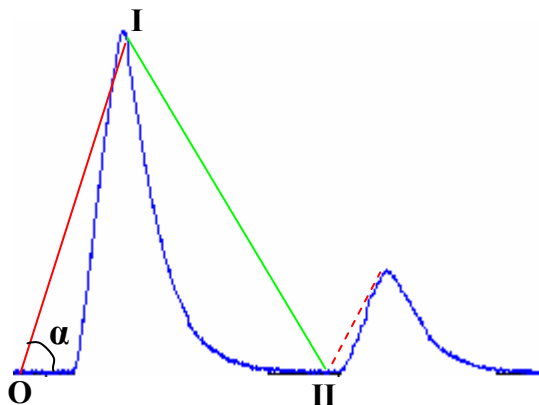


Figura 33 – Algoritmo de Extração de Passadas no sinal de Potência

Durante a extração de passadas são criados triângulos que definem a região das passadas válidas. Na Figura 33 pode-se notar este triângulo formado pelos vértices 0, I e II.

O parâmetro DIFP na verdade utiliza a reta crescente gerada na detecção de passadas como coeficiente de variação. O seno do ângulo alfa (α) é calculado e multiplicado pela média da emissão acústica e multiplicado pela potência máxima vezes cem.

Percebe-se também que o sinal de potência continua presente na fórmula, entretanto, agora ele aparece multiplicado pelo alfa da reta crescente e, assim, menos susceptível a variação da amplitude.

A expressão 13 representa o parâmetro DIFP.

$$DIFP = 100 \cdot \text{sen}(\alpha) \cdot \text{MAXPOT} \cdot \text{MÉDIA}(EA) \quad (13)$$

onde,

$\text{sen}(\alpha)$ é o seno do ângulo formado entre a reta crescente presente na extração de passadas do sinal de potência;

MAXPOT é a máxima potência presente na passada;

MÉDIA(EA) é a média do sinal de Emissão Acústica na passada;

4.3. Análise dos Parâmetros de Queima


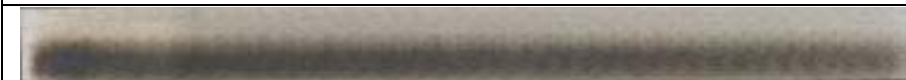


A análise dos parâmetros de queima foi realizada através da aquisição dos sinais para posterior processamento. Foram utilizados quatro corpos de provas (peças) durante os testes para cada tipo de aço, sendo que a profundidade de corte era aumentada a cada 2 ou 3 passadas para forçar a queima no ensaio com aço ABNT 1045 e conseqüentemente obter os respectivos limiares de queima para cada um dos parâmetros em estudo. Para o aço VC 131 a profundidade de corte foi mantida constante durante todo o ensaio.

Após o início do processo de retificação, o mesmo só era finalizado quando uma queima severa ocorria ou quando se atingisse um determinado número de passadas (vigésima sexta passada para o aço ABNT 1045 e vigésima quinta para o aço VC131). O que ocorresse primeiro provocava o fim dos ensaios na peça.

A caracterização e classificação da queima foi feita visualmente durante a usinagem. De acordo com a coloração das peças após cada passe da retificadora a superfície da peça foi classificada como sem queima, queima leve, média e severa.

Na Tabela 1 são apresentadas fotografias de amostras de colorações obtidas nos ensaios.

Tabela 1 – Padrão de coloração utilizado na classificação das queimas

	Queima severa
	Queima média
	Queima leve
	Sem Queima

A seguir serão detalhados os ensaios realizados com os dois tipos de aço.

4.3.1. Resultados Obtidos com o Aço ABNT 1045

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos visualmente durante o processo de retificação para cada uma das quatro peças usinadas (aço ABNT 1045).

Apesar da afirmação de que o ensaio somente era encerrado quando ocorria a queima severa ou alcançasse a vigésima sexta passada, pode-se notar que nenhuma destas opções ocorreu com a peça 1. Isto porque esta peça foi

deixada propositadamente sem a queima severa para servir como referência durante as análises, pois a situação de queima e não queima muitas vezes se encontram próximas demais, dificultando a separação entre queima leve, média e severa.

A definição da queima leve, média e severa apresentou variações durante os ensaios e algumas vezes não foi possível caracterizar exatamente com uma destas três possibilidades, por isso, utilizou-se os prefixo + e – para representar situações intermediárias. Por exemplo, a vigésima sexta passada da peça 4 apresentou uma queima mais do que média, entretanto, não pode ser considerada como severa.

As figuras 34 a 53 apresentam o processamento de cada um dos parâmetros de queima para cada uma das peças acima mencionadas. O gráfico superior de cada figura representa o sinal de emissão acústica RMS durante o ensaio. O sinal de potência é representado pelo gráfico do centro e o parâmetro de detecção analisado encontra-se no gráfico inferior de cada figura. O eixo das abscissas nos gráficos representa as passadas do rebolo durante o ensaio enquanto o eixo das coordenadas indica a amplitude do sinal correspondente (emissão acústica no gráfico superior; potência elétrica no gráfico do centro; e parâmetro de queima no gráfico inferior).

Tabela 2 – Histórico das Passadas no Processo de Retificação – Aço ABNT1045

Passadas	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4
1	SQ	SQ	SQ	SQ
2	SQ	SQ	SQ	SQ
3	SQ	SQ	SQ	SQ
4	SQ	SQ	SQ	SQ
5	SQ	SQ	SQ	SQ
6	SQ	SQ	SQ	SQ
7	SQ	SQ	SQ	SQ
8	SQ	SQ	SQ	SQ
9	SQ	SQ	SQ	SQ
10	SQ	SQ	SQ	SQ
11	SQ	SQ	SQ	SQ
12	SQ	SQ	SQ	QL
13	SQ	SQ	SQ	QL
14	SQ	SQ	SQ	QL+
15	SQ	SQ	SQ	QL+
16	QL	SQ	SQ	QL+
17	QL	SQ	QM	QL+
18	QM	SQ	QM+	QL+
19	QM	QM	QS	QM-
20		QM		QM-
21		QM		QM
22		QM		QM
23		QS		QM-
24				QM
25				QM
26				QM+

SQ	Sem queima
QL	Queima Leve
QM	Queima Média
QS	Queima Severa

*Profundidade de corte variando a cada 2 ou 3 passadas

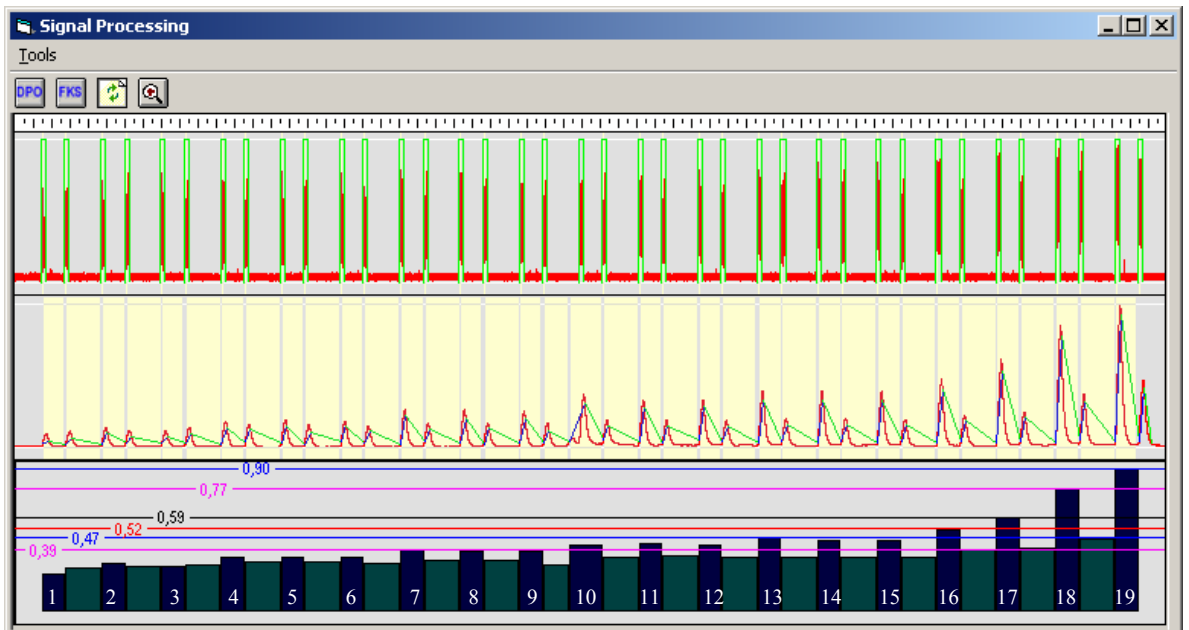


Figura 34 – Cálculo do Parâmetro DPO para a Peça 1

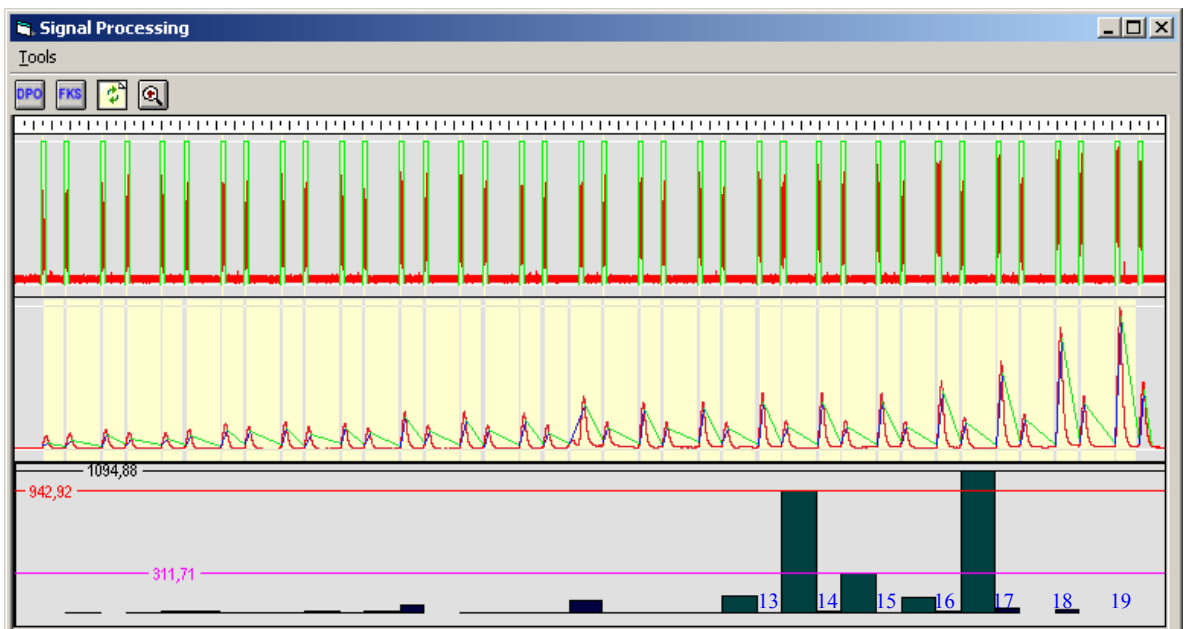


Figura 35 – Cálculo do Parâmetro FKS para a Peça 1

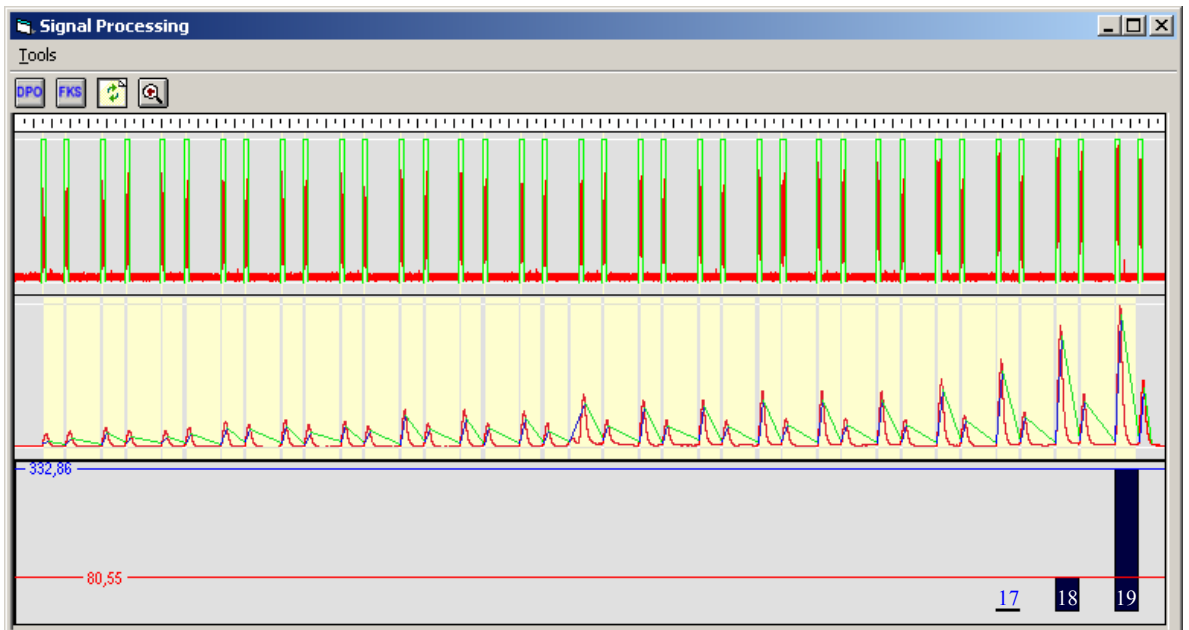


Figura 36 – Cálculo do Parâmetro DPKS para a Peça 1

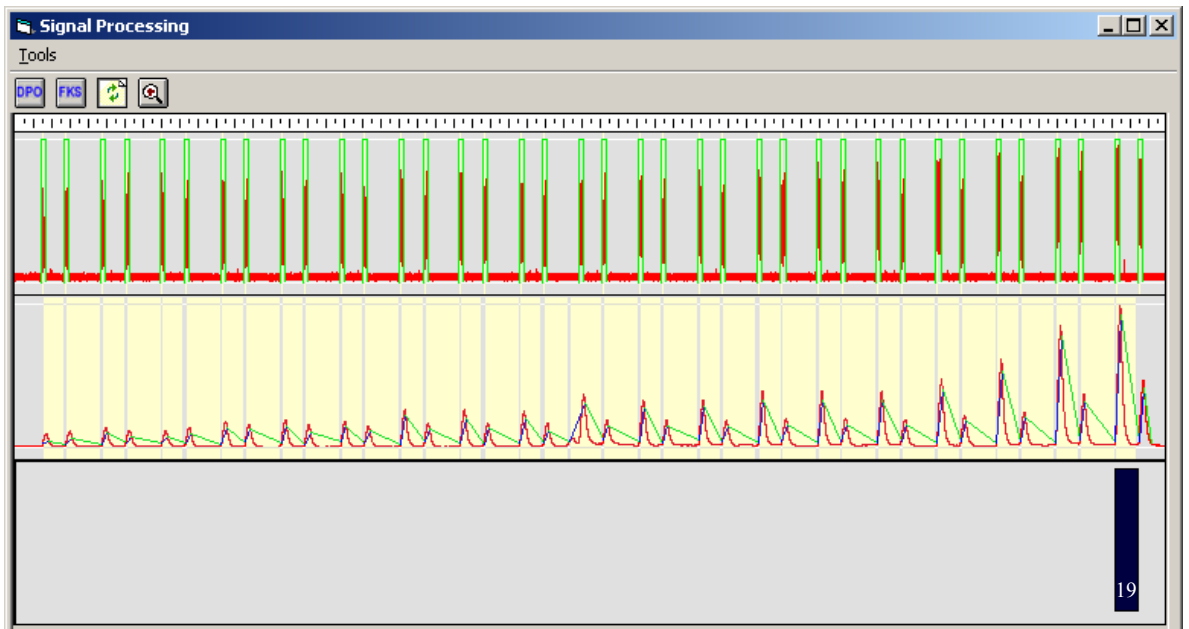


Figura 37 – Cálculo do Parâmetro DAREA para a Peça 1

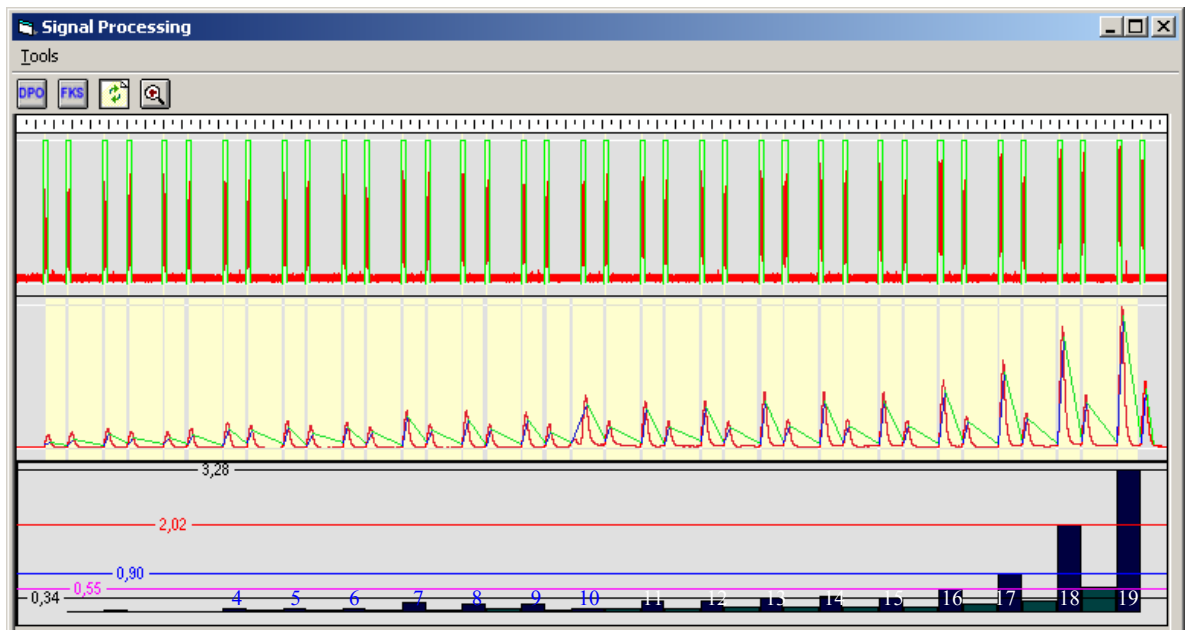


Figura 38 – Cálculo do Parâmetro DIFP para a Peça 1

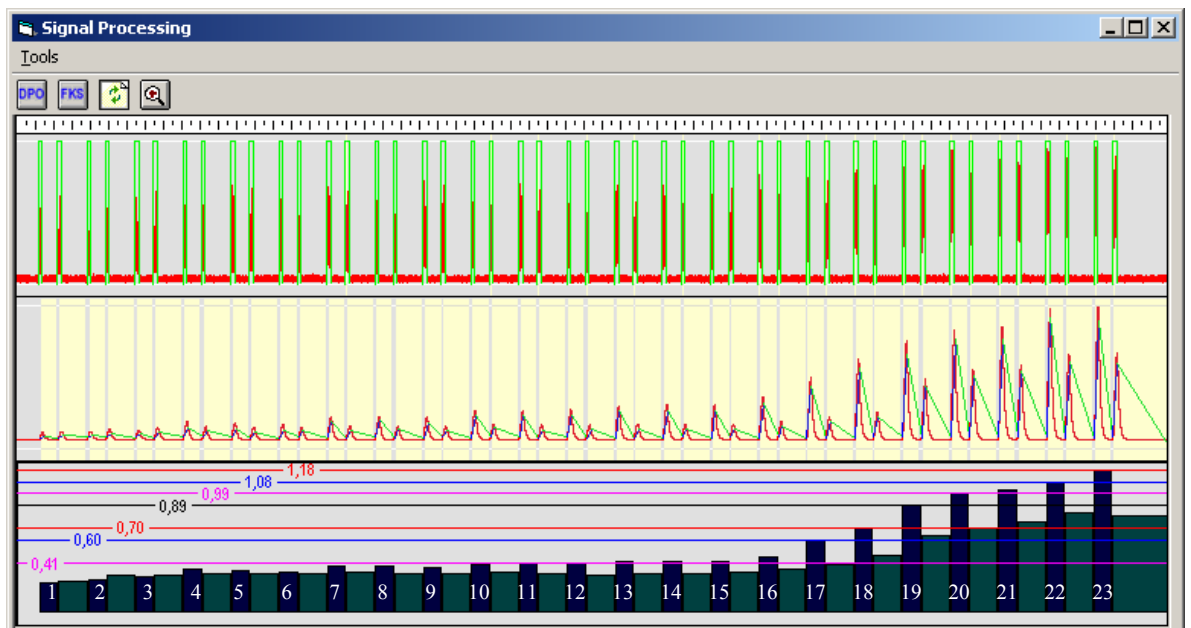


Figura 39 – Cálculo do Parâmetro DPO para a Peça 2



Figura 40 – Cálculo do Parâmetro FKS para a Peça 2



Figura 41 – Cálculo do Parâmetro DPKS para a Peça 2

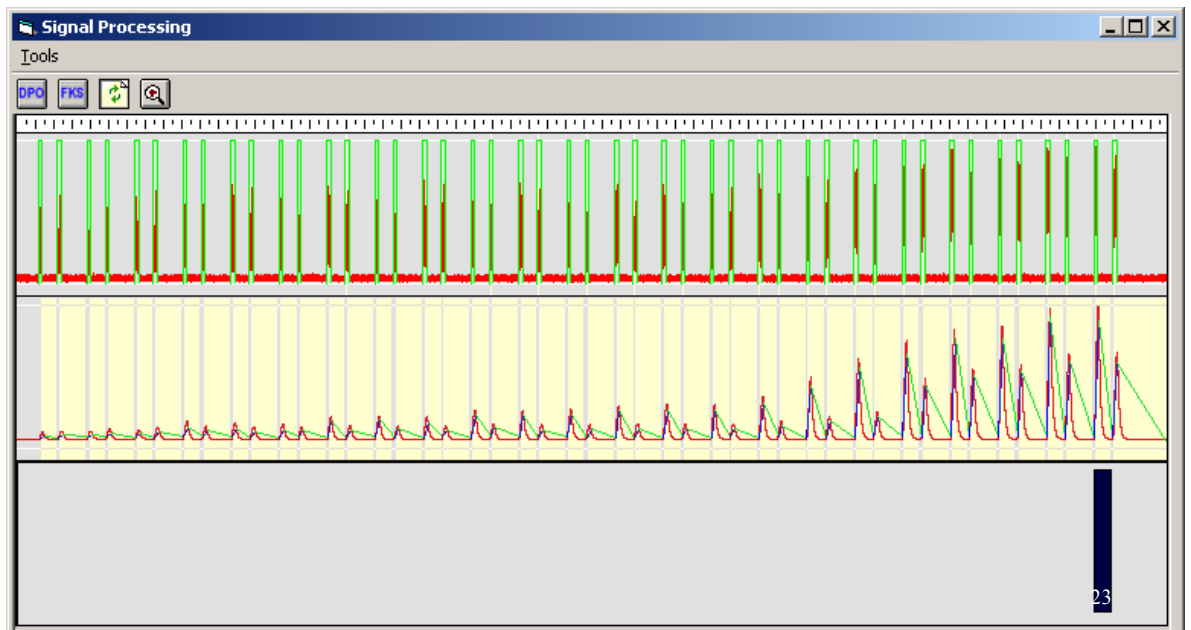


Figura 42 – Cálculo do Parâmetro DAREA para a Peça 2

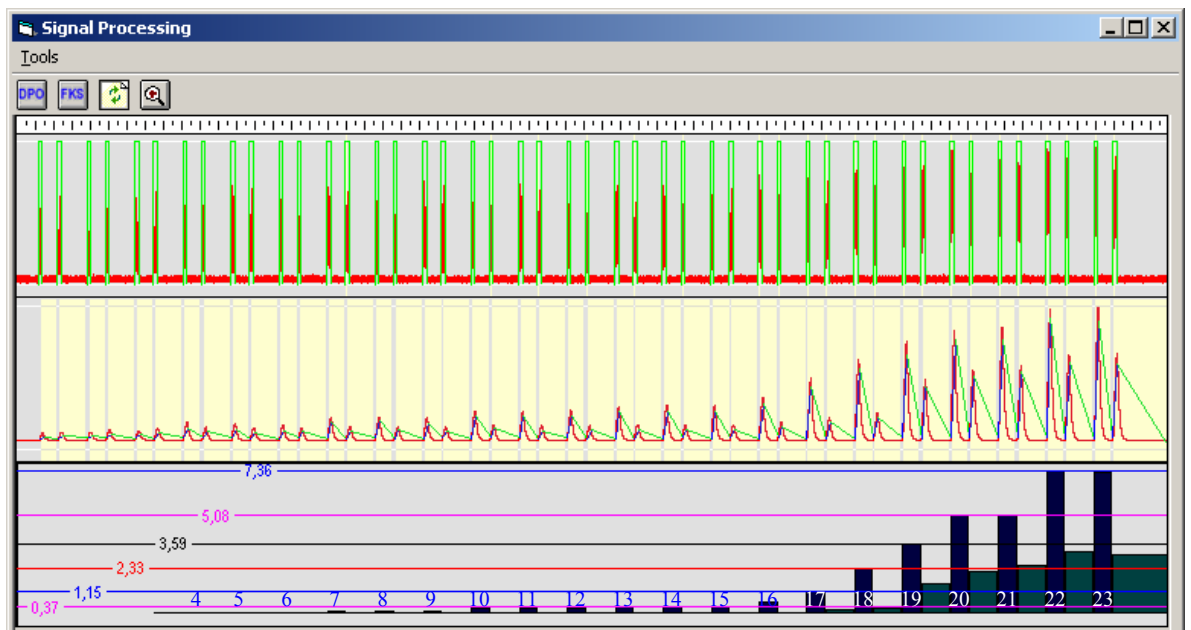


Figura 43 – Cálculo do Parâmetro DIFP para a Peça 2

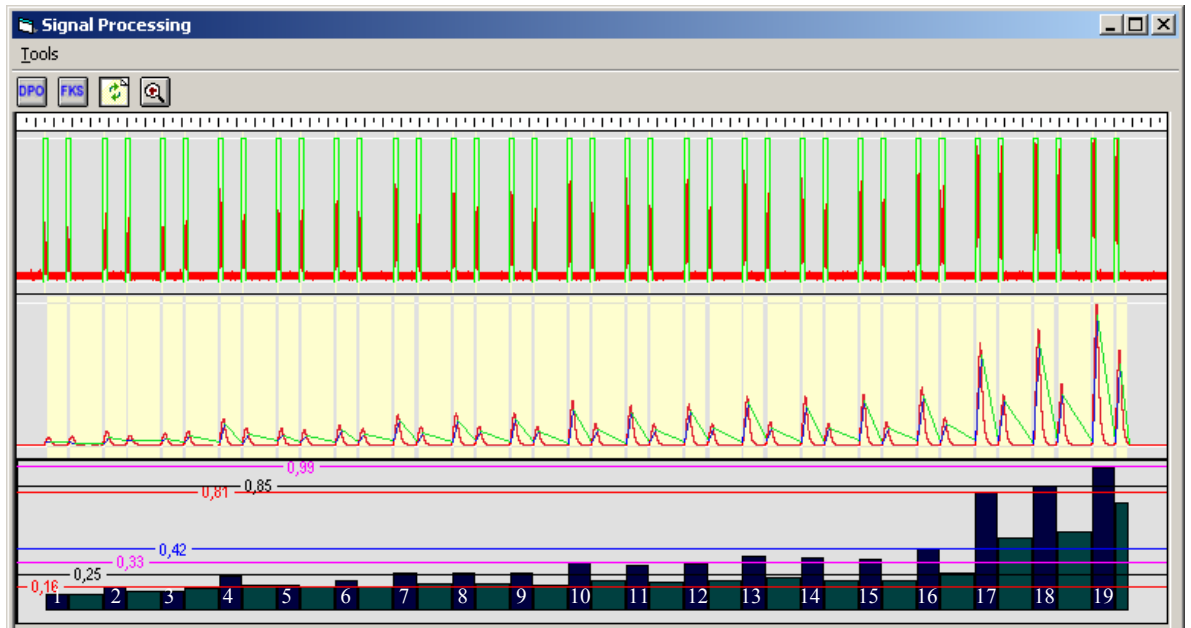


Figura 44 – Cálculo do Parâmetro DPO para a Peça 3

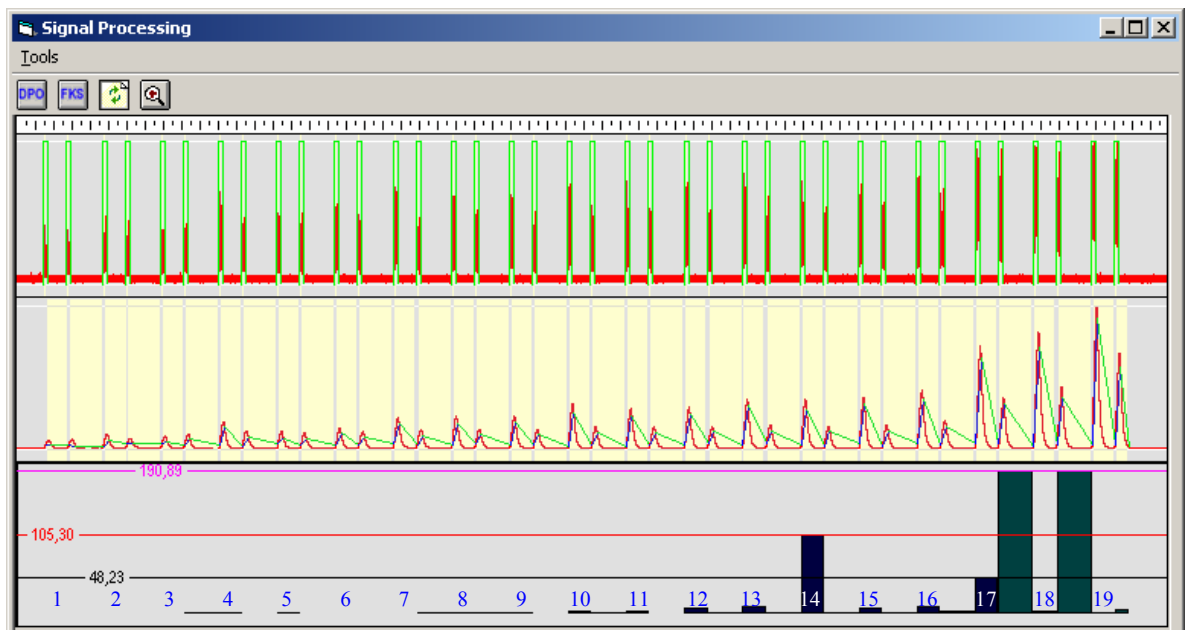


Figura 45 – Cálculo do Parâmetro FKS para a Peça 3

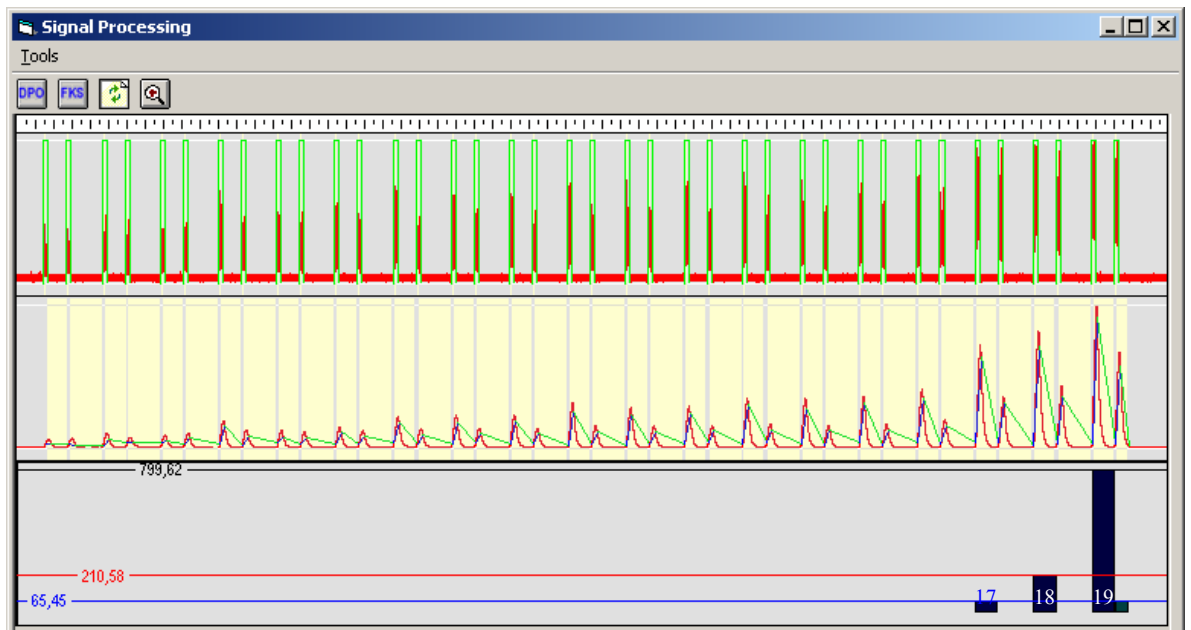


Figura 46 – Cálculo do Parâmetro DPDS para a Peça 3

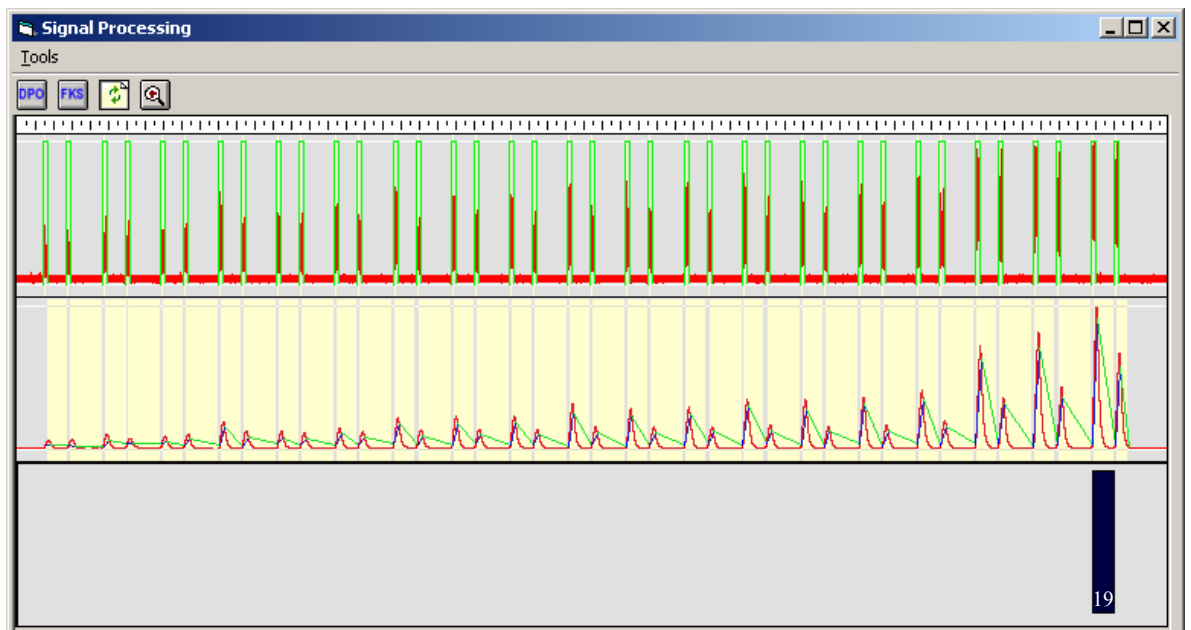


Figura 47 – Cálculo do Parâmetro DAREA para a Peça 3

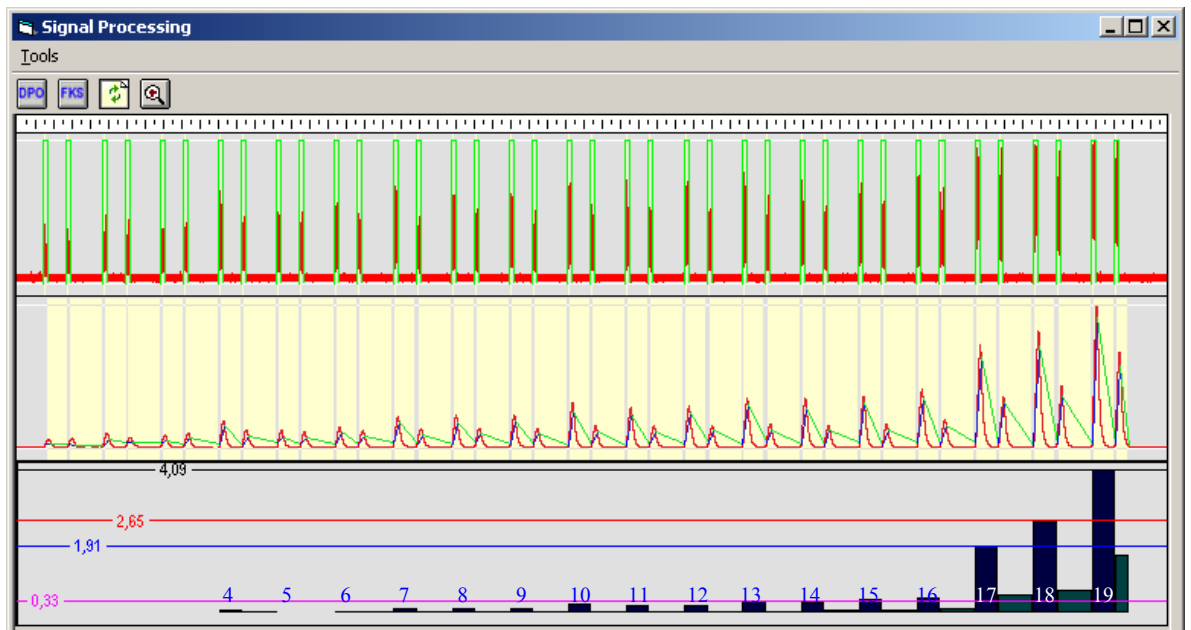


Figura 48 – Cálculo do Parâmetro DIFP para a Peça 3

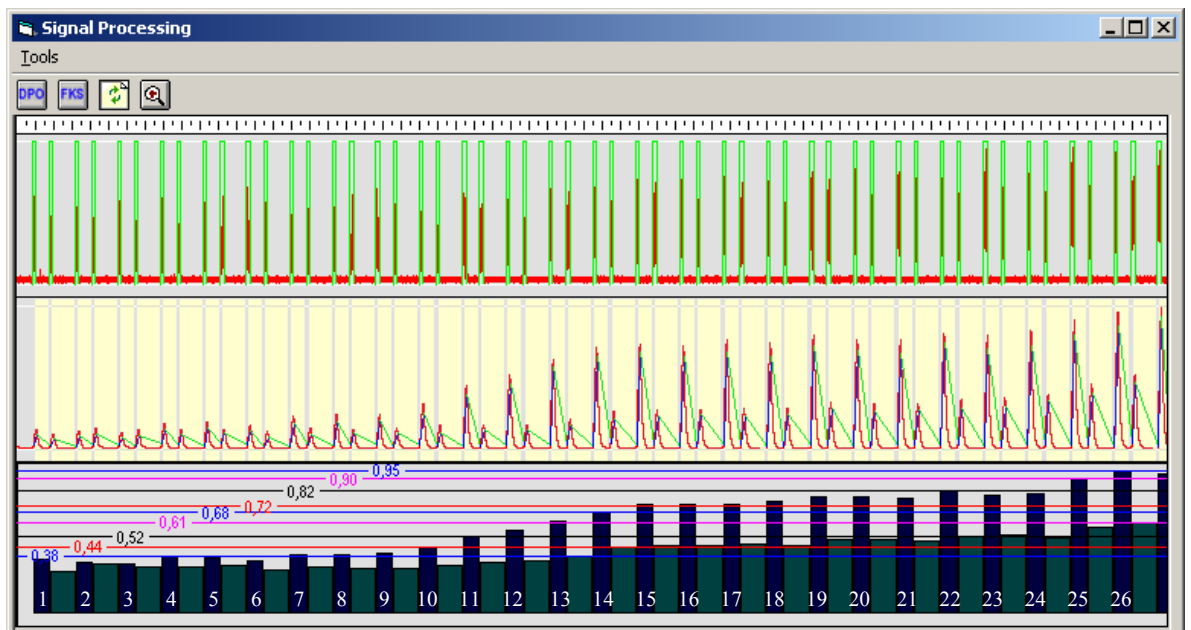


Figura 49 – Cálculo do Parâmetro DPO para a Peça 4

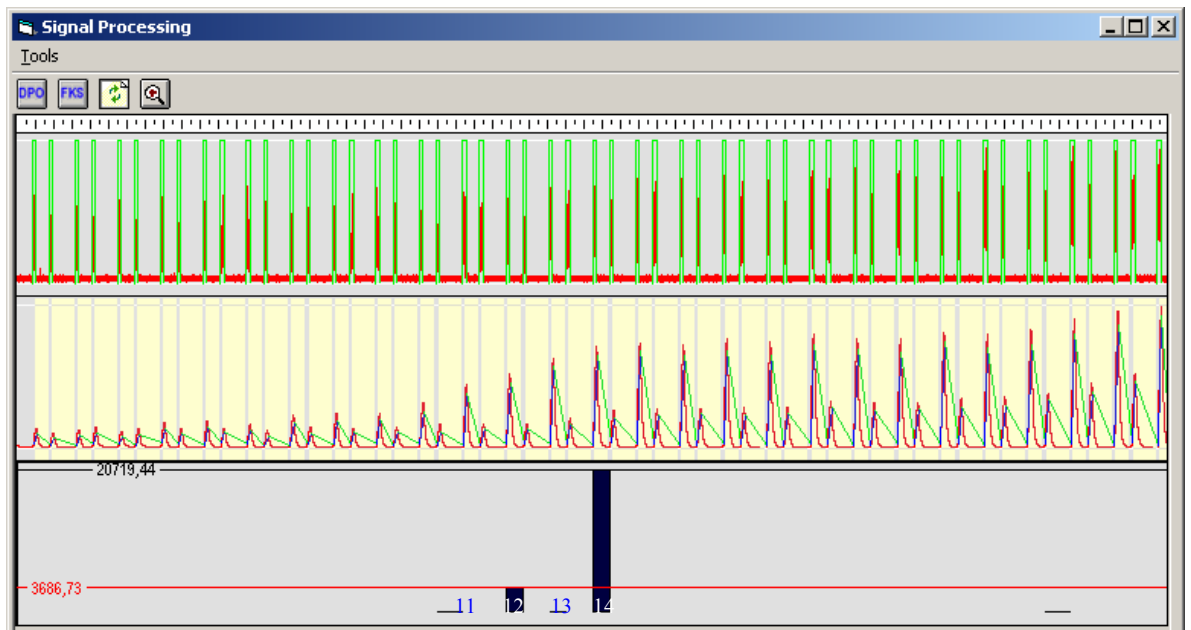


Figura 50 – Cálculo do Parâmetro FKS para a Peça 4



Figura 51 – Cálculo do Parâmetro DPKS para a Peça 4

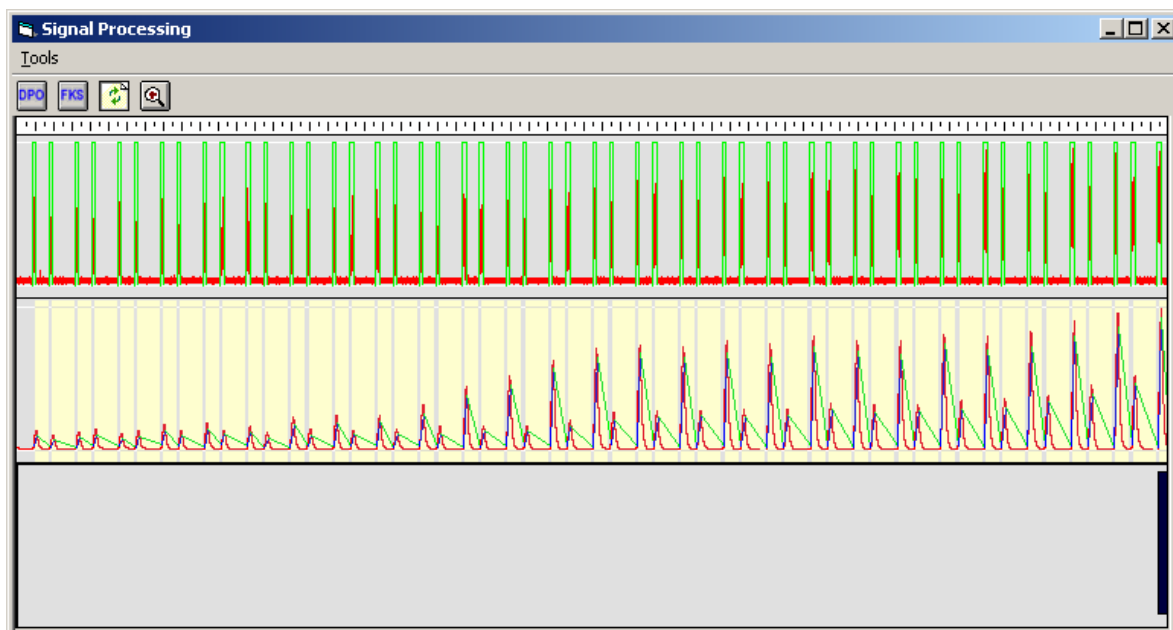


Figura 52 – Cálculo do Parâmetro DAREA para a Peça 4

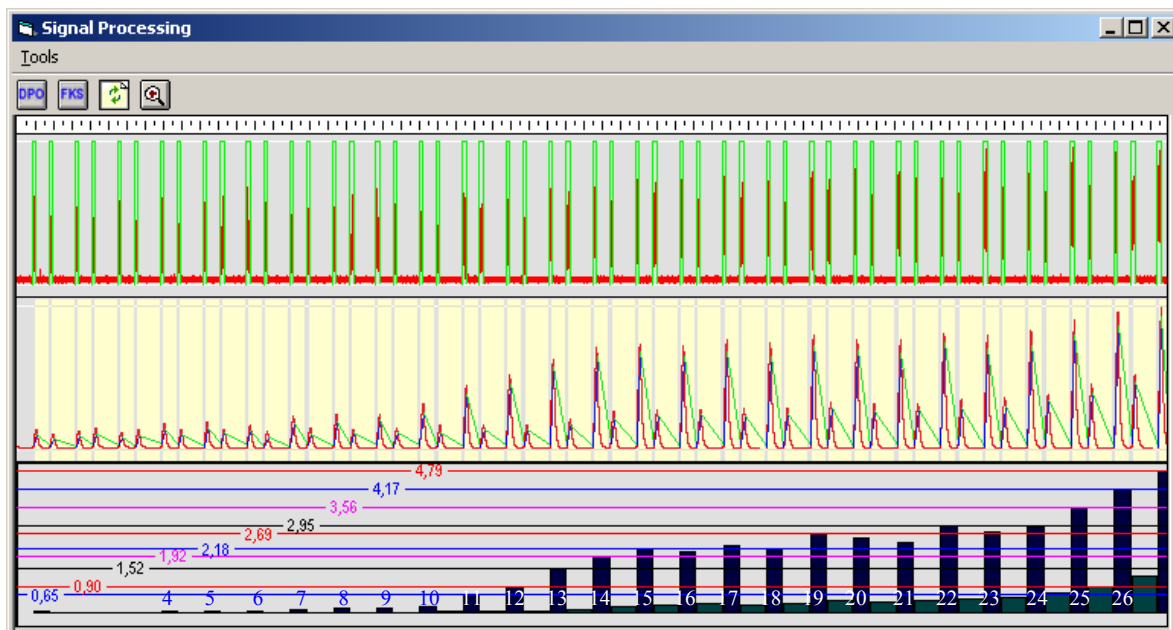


Figura 53 – Cálculo do Parâmetro DIFP para a Peça 4

Para se analisar os resultados montou-se às tabelas seguintes para cada um dos parâmetros de queima.

Tabela 3 – Análise do Parâmetro DPO

	Queima Leve	Queima Média	Queima Severa
Peça 1	0,77	0,9	não houve
Peça 2	não houve	0,89-1,08	1,18
Peça 3	não houve	0,81-0,85	0,99
Peça 4	0,61-0,72	0,82 – 0,95	não houve

Tabela 4 – Análise do Parâmetro FKS

	Queima Leve	Queima Média	Queima Severa
Peça 1	ND*	ND*	não houve
Peça 2	não houve	ND*	ND*
Peça 3	não houve	190,00 (<i>sparkout</i>)	ND*
Peça 4	3686-20719	ND*	não houve

*ND – O parâmetro não detectou a queima

Tabela 5 – Análise do Parâmetro DPKS

	Início da Queima Real	Início da Queima encontrado pelo DPKS
Peça 1	Passada 18	Passada 18
Peça 2	Passada 19	Passada 19
Peça 3	Passada 17	Passada 17
Peça 4	Passada 12	Passada 14

Tabela 6 – Análise do Parâmetro DAREA

	Passada de maior Queima Real	Passada de maior queima pelo DAREA
Peça 1	Passada 19	Passada 19
Peça 2	Passada 23	Passada 23
Peça 3	Passada 19	Passada 19
Peça 4	Passada 26	Passada 26

Tabela 7 – Análise do Parâmetro DIFP

	Queima Leve	Queima Média	Queima Severa
Peça 1	2,02	3,28	não houve
Peça 2	não houve	3,59-7,36	7,36
Peça 3	não houve	1,91-2,65	4,09
Peça 4	0,90-2,18	2,69-4,79	não houve

É possível notar que todos os parâmetros apresentaram bons resultados identificando a queima, exceto o FKS, entretanto, nota-se uma certa imprecisão quanto a definição de um patamar de queima seguro.

Percebe-se também que os parâmetros DPKS e DAREA conseguiram identificar o início e fim da queima, conforme discutido acima. O parâmetro DPKS somente errou na peça 4, onde ao invés de identificar a passada 12, somente apresentou variação significativa na passada de número 14.

A Tabela 3 foi construída coletando os valores do parâmetro DPO onde houve as queimas, subdividindo-a em leve, média e severa. Os campos das tabelas são preenchidos com os valores iniciais e finais para cada um dos níveis de queima. Por exemplo, na peça 2 não houve queima leve. O DPO para queima média ficou entre 0,89 e 1,08 e o DPO na queima severa foi de 1,18.

Na Tabela 4, utilizou-se o mesmo princípio da construção da Tabela 4 (DPO), entretanto, nota-se claramente que o FKS apresentou péssimos resultados, sendo que em quase nenhuma peça houve um patamar que tenha coincidido com a situação de queima. Exceção dada a peça 3 que apresentou patamar de 190 na queima média, mas para o *sparkout* da passada e não para uma passada válida. Na peça 4 também houve valores de FKS para a queima leve, mas muito disperso e sem representação significativa (entre 3686 e 20719).

O parâmetro DPKS (tabela 5) mostra em que passada houve o início da queima, por isso, é apresentado na tabela apenas o momento que o DPKS apresentou variação significativa. Uma das colunas da Tabela 6 mostra o esperado enquanto a outra coluna mostra os resultados do parâmetro. Nota-se que o DPKS acertou em três dos quatro casos, entretanto, o erro não foi tão grande,

pois da décima segunda para a décima quarta passada houve uma variação muito pequena.

A Tabela 6 foi construída de forma idêntica a Tabela 5, entretanto, agora o parâmetro DAREA mostra a passada onde o maior patamar de queima ocorreu.

Para a análise do parâmetro DIFP foi construída a Tabela 8. A Tabela 8 mostra os patamares de queima para o DIFP, subdividindo entre queima leve, média e severa, como foi feito para o DPO e o FKS.

O DPO apresentou bons resultados em todas as passadas mostrando-se sempre com muita coerência, pois os níveis de queima leve, média e severa ficaram bem definidos. Pode-se notar que para a queima leve têm-se valores de 0,61 a 0,77. Para a queima média o parâmetro muda e varia entre 0,81 e 1,08. Já na queima severa têm-se valores entre 0,99 e 1,18. Nota-se então que existe uma região sobreposta entre a queima média e severa (de 0,99 a 1,08) que não é possível identificar se houve a ocorrência de queima média ou da queima severa.

O parâmetro DIFP apresentou divergências na peça 4, pois o patamar de queima média ficou superior ao patamar de queima severa da peça 3. Após a análise visual das peças foi possível explicar tal imprecisão.

As figuras 54 a 57 apresentam a análise visual das peças após elas terem sido retiradas da retífica e, portanto, as imagens representam somente as últimas passadas de cada uma das peças usinadas.

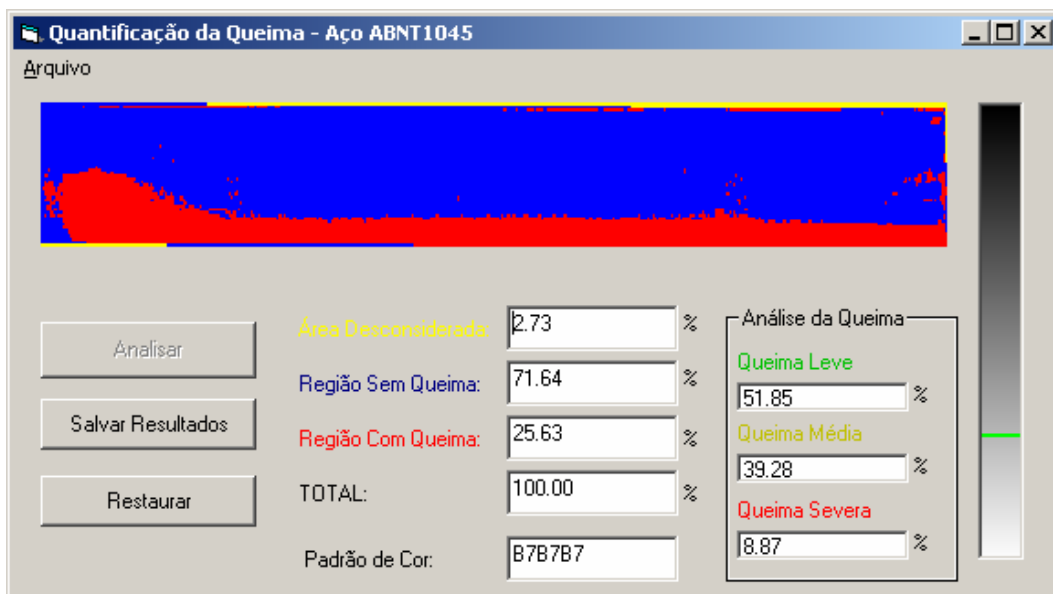


Figura 54 – Análise Visual da Peça 1

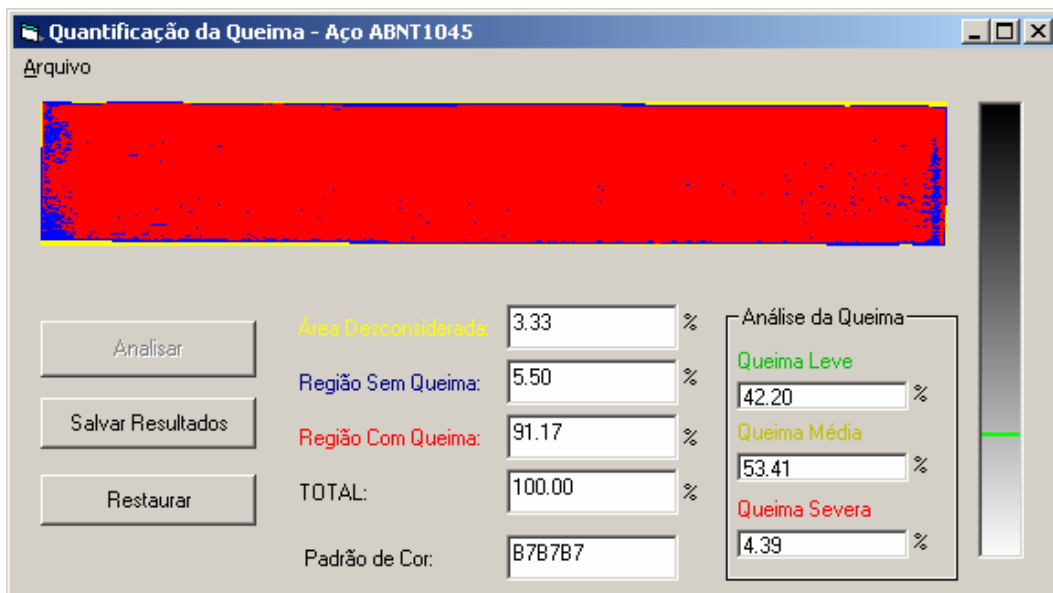


Figura 55 – Análise Visual da Peça 2

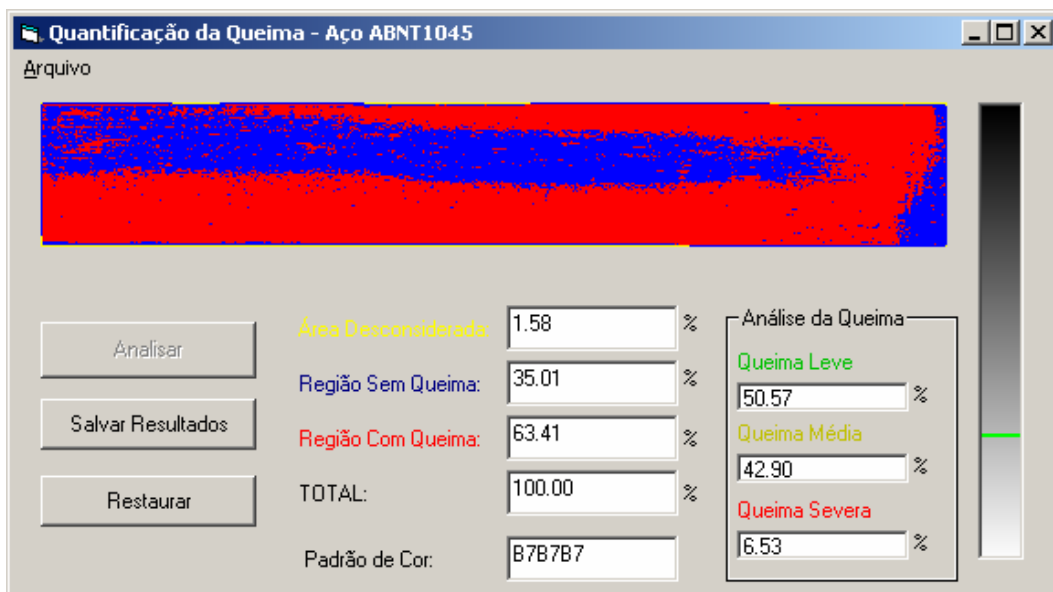


Figura 56 – Análise Visual da Peça 3

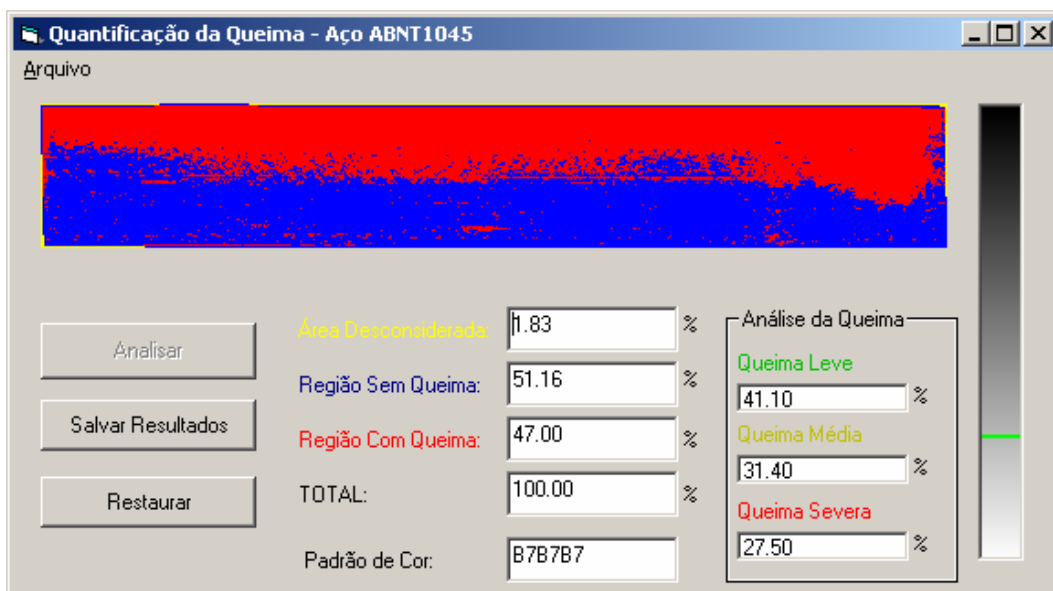


Figura 57 – Análise Visual da Peça 4

Pode-se notar através da análise visual que a peça que apresentou um menor grau de queima foi a peça 1 (com 25% da região com queima), seguida pela peça 3 (com 63% de queima). O grau de queima de ambas as peças ficaram muito próximos, pois as porcentagens de queima leve, média e severa são praticamente as mesmas. Com isso, pode-se dizer que o tipo de queima provocada nestas duas peças é bem similar, entretanto, as áreas da peça recobertas com a queima são diferentes (25% e 63%).

Pela análise visual pode-se notar também que a peça 2 vem em seguida com uma área total de queima em torno de 91%, onde desta área, 43% foi queima leve, 53% apresentou queima média e apenas 4% apresentou queima severa.

A idéia inicial sugere que a peça 4 sofreu uma área de queima menor do que a peça 2, entretanto, é possível perceber que os 47% de queima apresentam um grau de severidade maior do que as outras peças, pois a peça 2 teve o maior índice de queima severa, cerca de 27%. Acredita-se que esta é a explicação pela qual o parâmetro DIFP apresentou resultados divergentes na peça 4 e desta forma “acertou mais” do que o parâmetro DPO que não conseguiu se sensibilizar com estas diferenças.

A seguir são apresentados os gráficos da análise da rugosidade das peças ensaiadas. Mais uma vez torna-se importante lembrar que esta análise refere-se apenas a última passada.

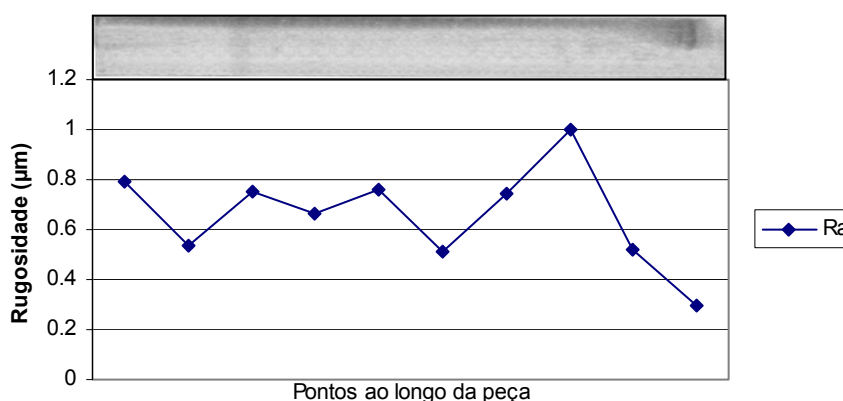


Figura 58 – Análise de Rugosidade da Peça 1

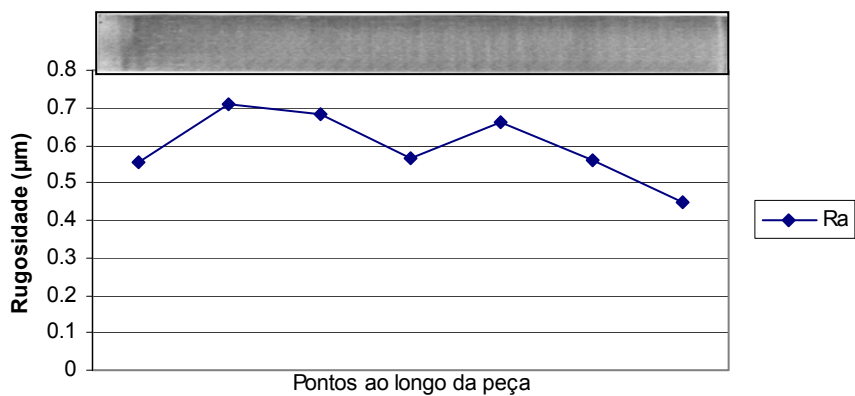


Figura 59 – Análise de Rugosidade da Peça 2

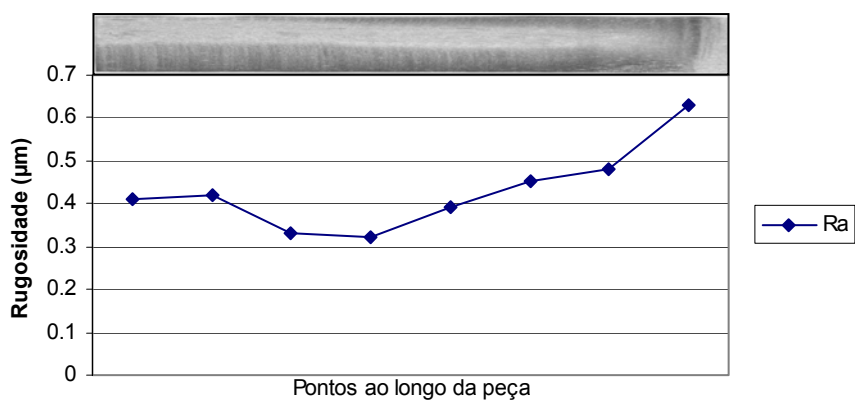


Figura 60 – Análise de Rugosidade da Peça 3

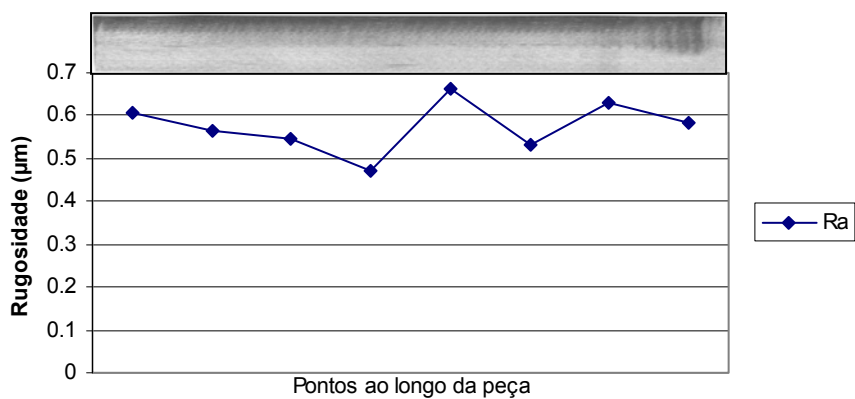


Figura 61 – Análise de Rugosidade da Peça 4

É possível notar que durante os ensaios as peças tiveram grandes variações de rugosidade o que caracteriza a queima da peça. Acima de cada gráfico de rugosidade foi colocada uma foto da peça para que fosse possível uma comparação visual.

Para a obtenção dos gráficos da rugosidade (figuras 58, 59, 60 e 61) efetuou-se através de um rugosímetro medidas em diversos pontos da peça, conforme proposto no capítulo “Material e Métodos”.

No gráfico da Figura 58 pode-se verificar que a rugosidade aumenta conforme se desloca para a direita no gráfico, deixando bem claro que as queimas mais severas ocorreram ao final da passada. Através de uma análise na foto da peça da Figura 58 pode-se perceber que a coloração da peça acompanha o gráfico da rugosidade mostrando que tanto a análise visual quanto os dados obtidos da rugosidade confirmam a região de queima mais severa.

Os resultados obtidos na Figura 59 mostram que a ocorrência da queima foi mais uniforme, mantendo valores próximos de rugosidades durante toda a peça. Através da foto da peça pode-se perceber que os tons permaneceram também escuros durante toda a extensão comprovando uma distribuição uniforme de queima. Mais uma vez a análise visual e a análise da rugosidade demonstraram os mesmos resultados.

Na Figura 60 é possível perceber claramente, tanto pela análise visual quanto pela análise da rugosidade que a queima ocorreu por toda a peça ficando a extremidade direita da peça com uma queima mais acentuada.

A análise da rugosidade na peça 4 (figura 61) apresentou uma oscilação, mostrando que existem regiões de queima severa distribuídas pela peça. Na análise visual pode-se perceber algumas destas regiões, entretanto, algumas delas somente podem ser notadas através da análise da rugosidade. Neste caso, as análises de rugosidade e visual se complementam.

Após a realização de todas as análises pode-se definir os limiares de queima para o Aço ABNT 1045 nas condições de usinagem descritas anteriormente. A Tabela 8 apresenta um resumo de todos os resultados obtidos com a definição dos limiares de queima para cada parâmetro.

Tabela 8 – Definição dos Limiares de Queima

	DPO	DIFP	FKS	DPKS	DAREA
Queima Severa	>0,99	>4,09	ND*	-	detectou
Queima Média	>0,81	>1,90	ND*	-	-
Queima Leve	>0,61	>0,90	ND*	detectou	-

*ND – O parâmetro não detectou a queima

A Tabela 8 foi construída levando em conta o pior caso, ou seja, a partir do limiar definido a probabilidade da ocorrência da queima é grande. É possível perceber claramente que o DIFP apresentou uma variação bem maior que o DPO, podendo ser refinado em outros ensaios para apresentar resultados ainda mais precisos. O FKS não conseguiu detectar a queima com segurança em nenhum caso, por isso, nenhum patamar pode ser definido.

Os parâmetros DPKS e DAREA conseguiram detectar as situações de queima com ótimos resultados. O DPSK, por exemplo, acertou o início da queima em quase todos os casos, enquanto que o DAREA acertou a situação de queima severa em todos os casos.

4.3.2. Resultados Obtidos com o Aço VC 131

A Tabela 9 mostra os resultados obtidos visualmente durante o processo de retificação para cada uma das quatro peças usinadas (aço VC131).

Para os ensaios realizados com o aço VC 131 a profundidade de corte foi mantida constante. Como pode ser notada na Tabela 9, a profundidade de corte nos ensaios foram de 20 μ m (peça 1), 15 μ m (peça 2), 30 μ m (peça 3) e 10 μ m (peça 4).

Na peça 4 foram realizadas apenas 5 passadas propositalmente, pois desta forma pode-se encontrar uma situação de não queima bem definida. Com esta peça pode-se definir o patamar onde a queima realmente não ocorreu.

A peça 3 apresentou pontos onde houve a queima severa, entretanto, decidiu-se por continuar o ensaio, pois a queima severa não estava presente em toda a peça.

Tabela 9 – Histórico das Passadas no Processo de Retificação – Aço VC131

Passadas	Peça 1 a=20µm	Peça 2 a=15µm	Peça 3 a=30µm	Peça 4 a=10µm
1	SQ	SQ	SQ	SQ
2	QL+	SQ	QL	SQ
3	QL-	SQ	QM	SQ
4	QL	SQ	QM	SQ
5	QL	SQ	QL+	SQ
6	QL+	QL+	QM-	
7	QL+	SQ	QL+	
8	SQ	QL+	QM-	
9	QL	SQ	QM	
10	QL+	QL+	QM	
11	QL+	SQ	QL	
12	QL+	QL	QL	
13	SQ	QL	QL	
14	QL+	QL	QS	
15	QL	QL	QS-	
16	QM	QL	QM	
17	QM-	QM	QS-	
18	QL	QL	QM	
19	QL-	SQ	QM	
20	QM	SQ	QM	
21	QL	QL+	QS-	
22	QM	QM+	QS-	
23	QM-	QM-	QS	
24	QL	QM-	QS	
25	QM	QL	QS	

SQ	Sem queima
QL	Queima Leve
QM	Queima Média
QS	Queima Severa

As figuras 62 a 81 apresentam o processamento de cada um dos parâmetros de queima para cada uma das peças. O gráfico superior de cada figura representa o sinal de emissão acústica RMS durante o ensaio. O sinal de potência é representado pelo gráfico do centro e o parâmetro de detecção analisado encontra-se no gráfico inferior de cada figura. O eixo das abscissas nos gráficos representa as passadas do rebolo durante o ensaio enquanto o eixo das coordenadas indica a amplitude do sinal correspondente (emissão acústica no gráfico superior; potência elétrica no gráfico do centro; e parâmetro de queima no gráfico inferior).

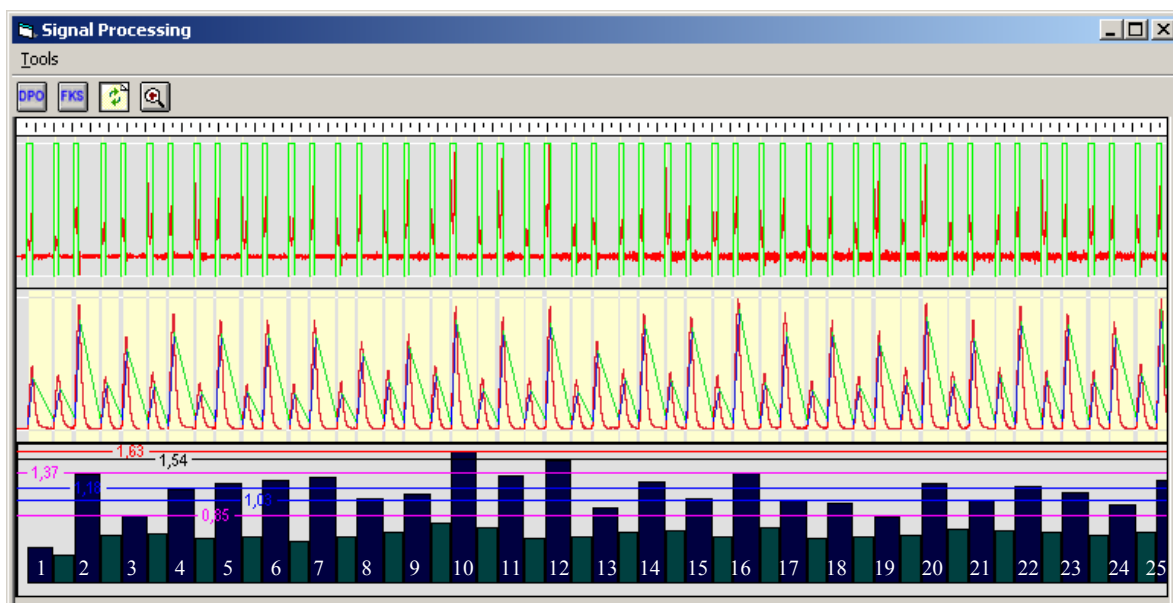


Figura 62 – Cálculo do Parâmetro DPO para a Peça 1

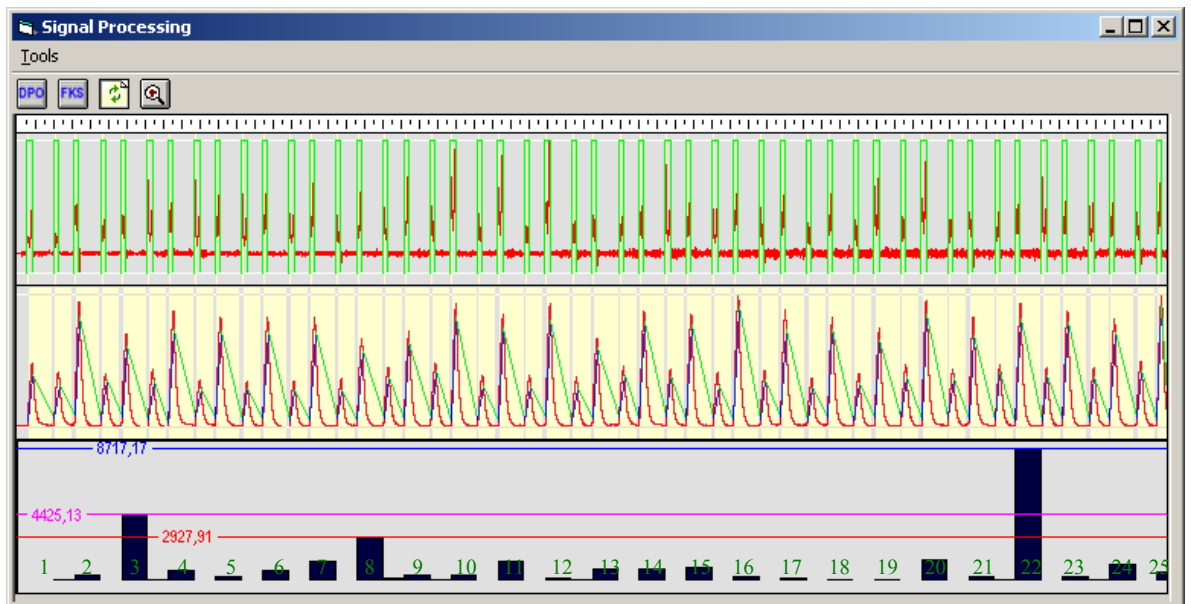


Figura 63 – Cálculo do Parâmetro FKS para a Peça 1

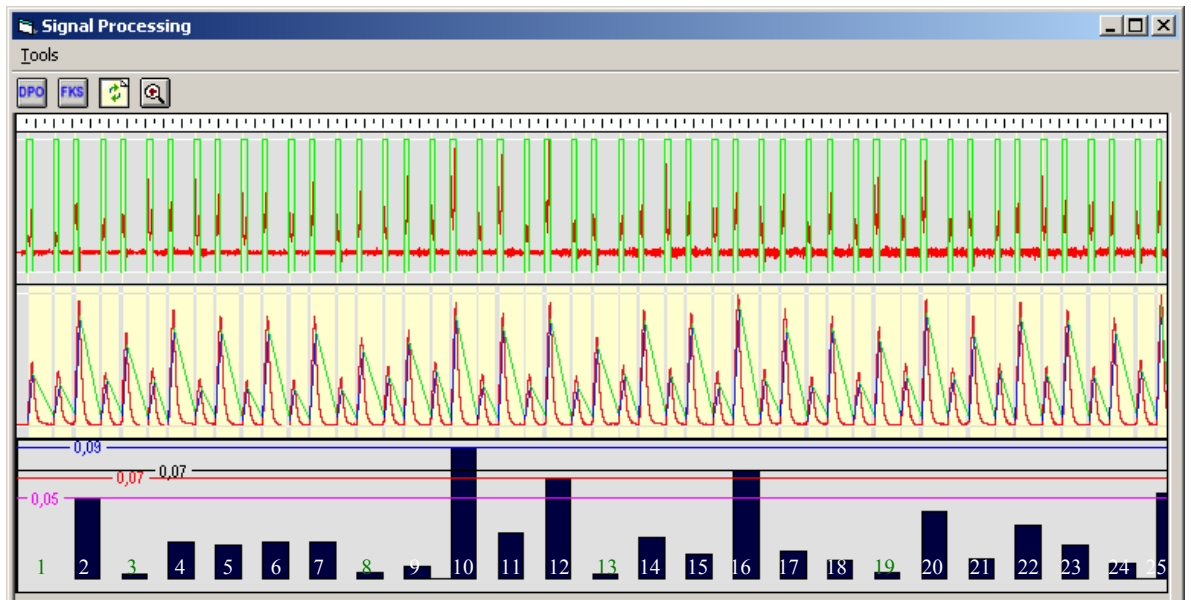


Figura 64 – Cálculo do Parâmetro DPKS para a Peça 1

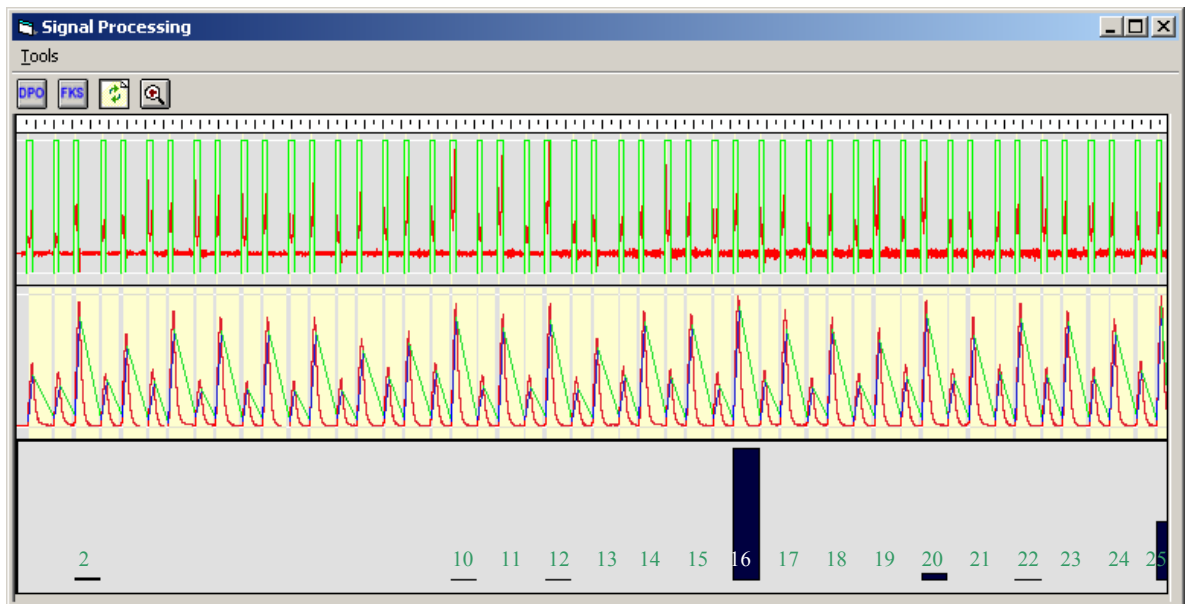


Figura 65 – Cálculo do Parâmetro DAREA para a Peça 1

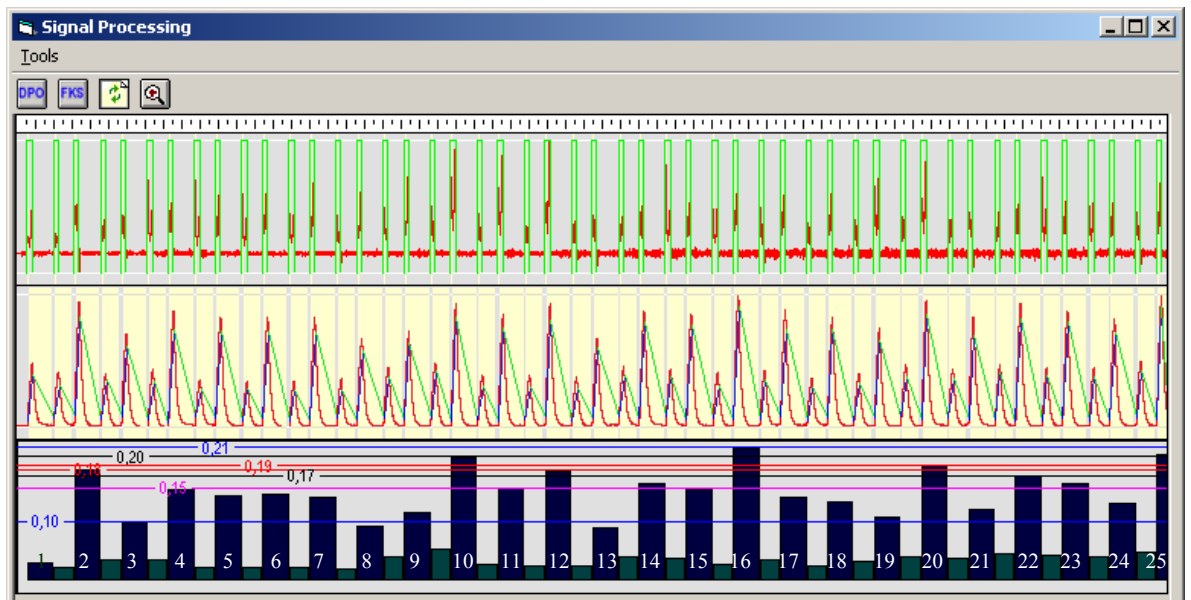


Figura 66 – Cálculo do Parâmetro DIFP para a Peça 1

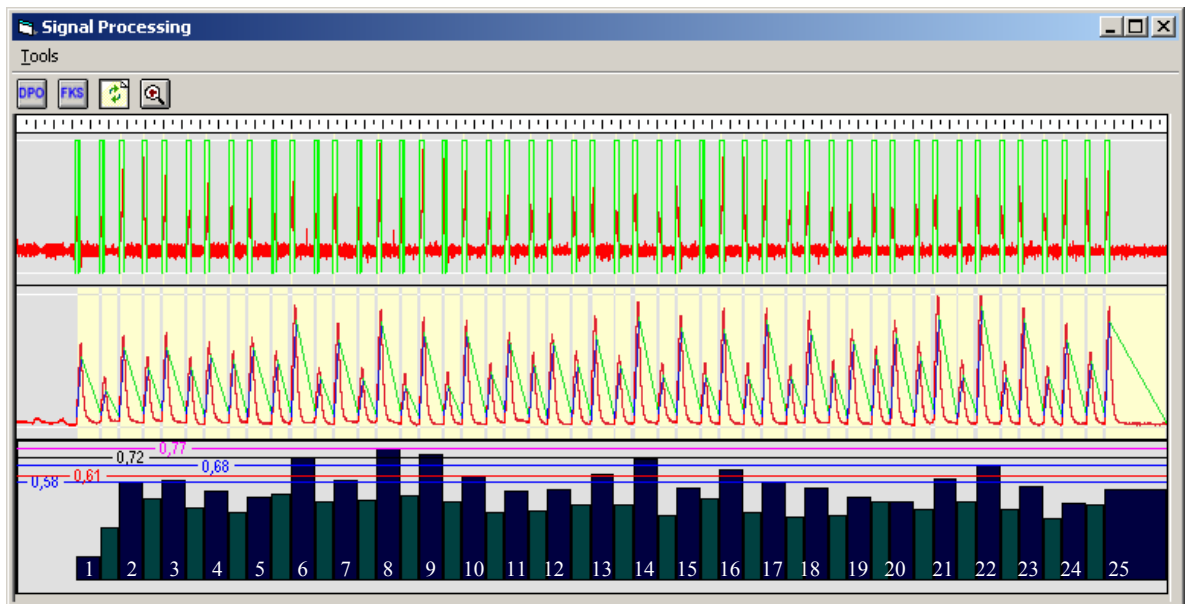


Figura 67 – Cálculo do Parâmetro DPO para a Peça 2

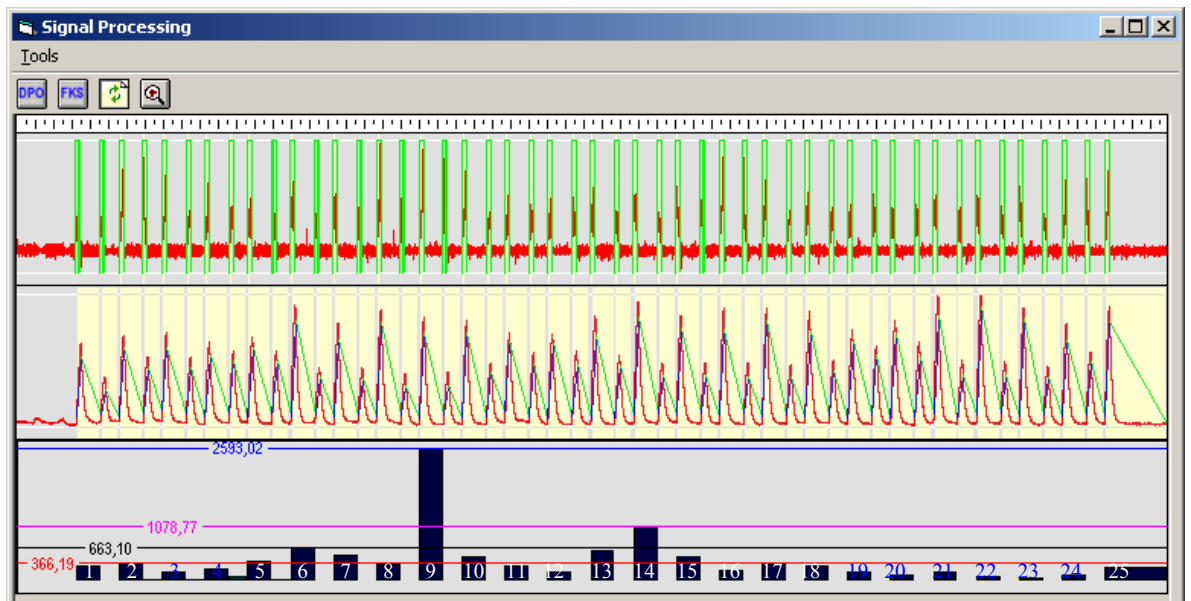


Figura 68 – Cálculo do Parâmetro FKS para a Peça 2

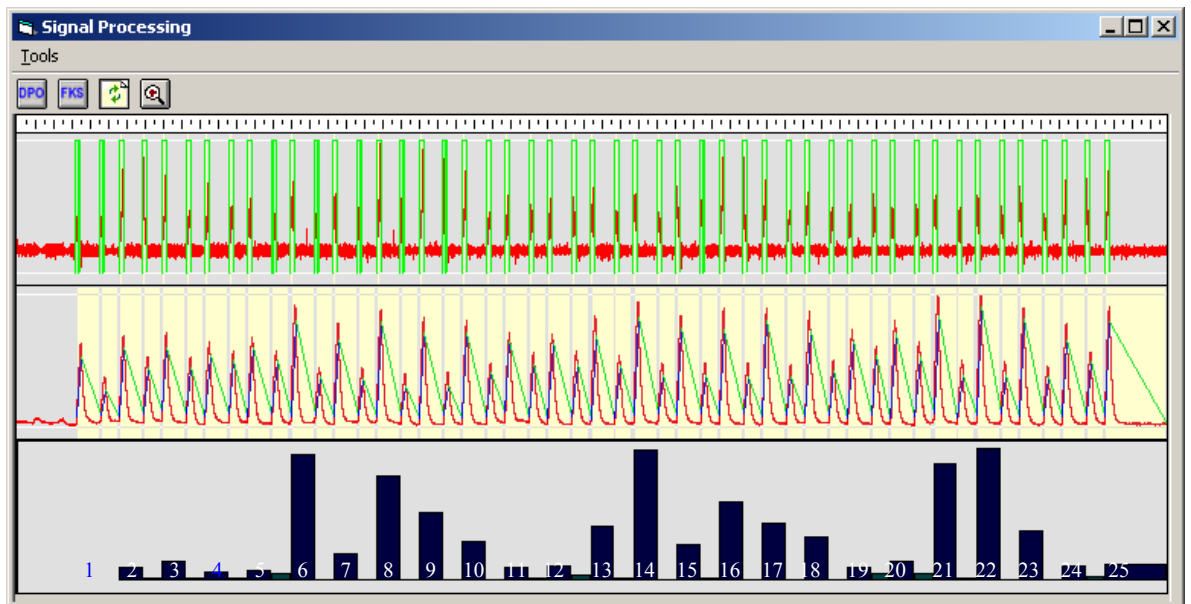


Figura 69 – Cálculo do Parâmetro DPKS para a Peça 2

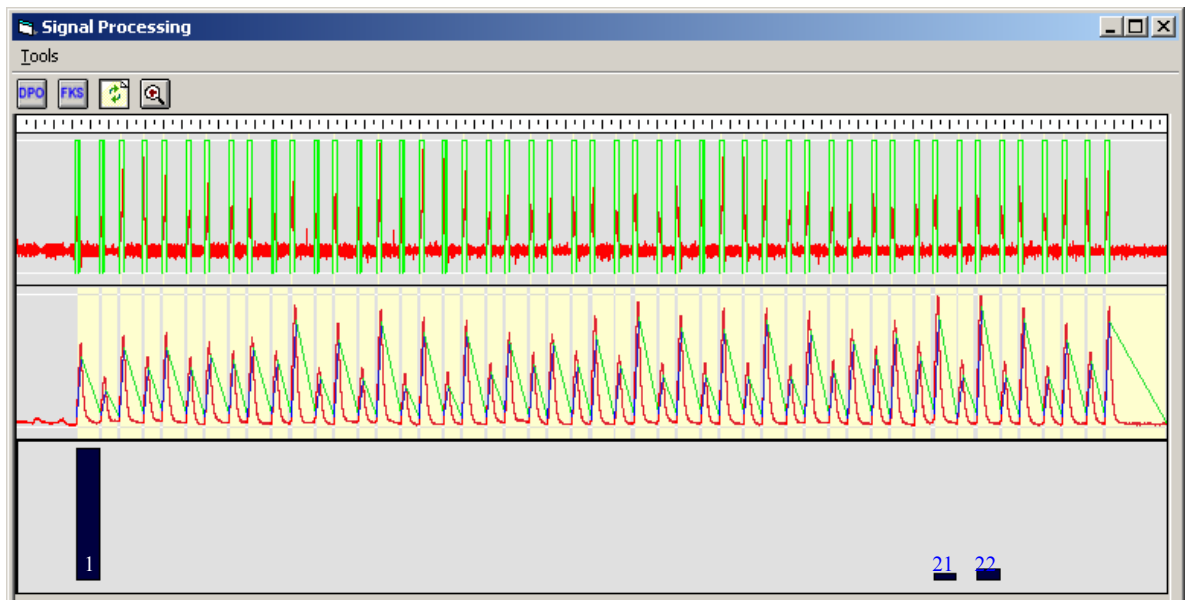


Figura 70 – Cálculo do Parâmetro DAREA para a Peça 2

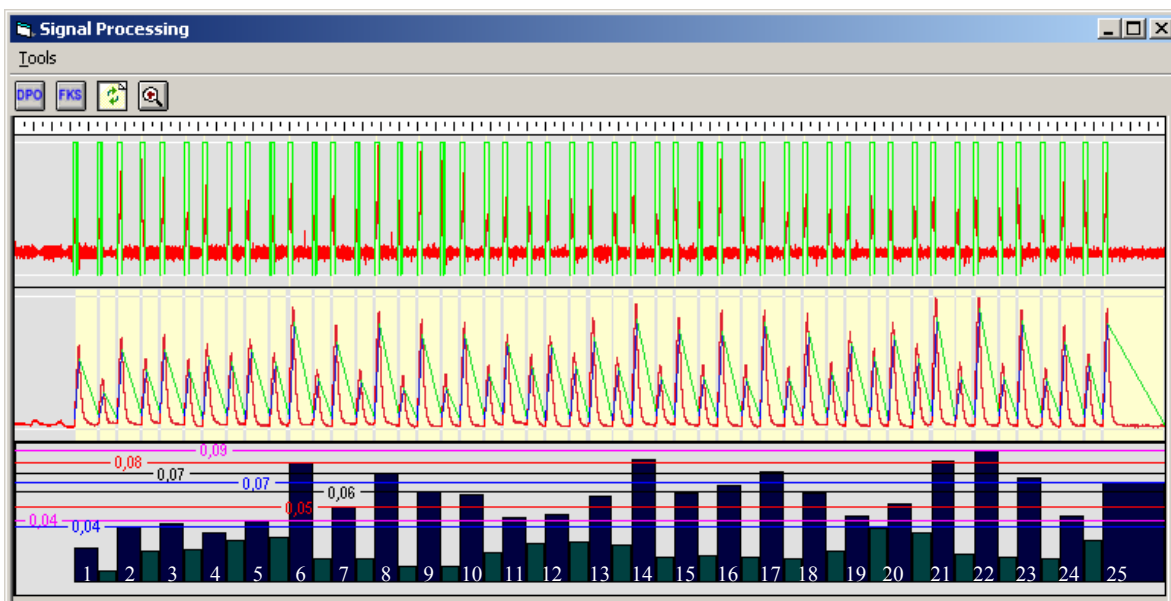


Figura 71 – Cálculo do Parâmetro DIFP para a Peça 2

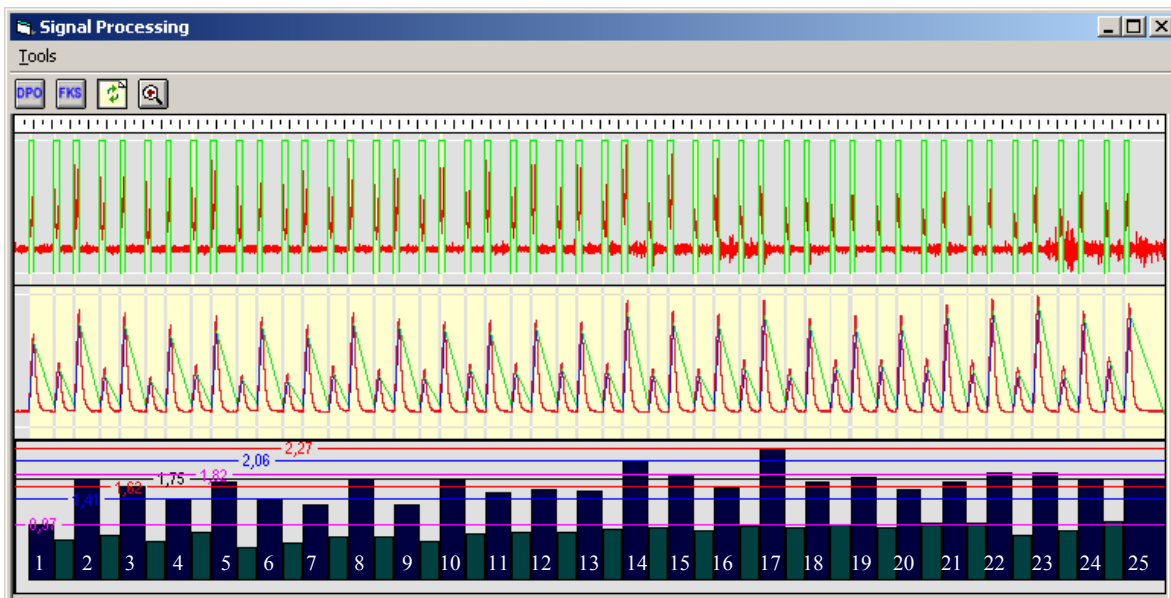


Figura 72 – Cálculo do Parâmetro DPO para a Peça 3

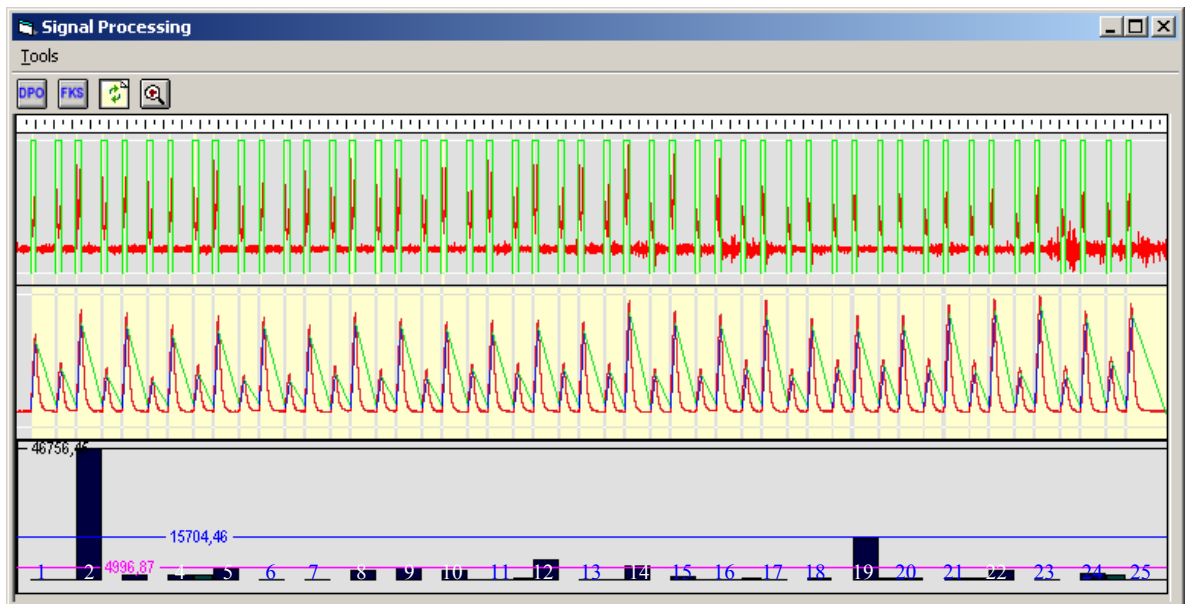


Figura 73 – Cálculo do Parâmetro FKS para a Peça 3

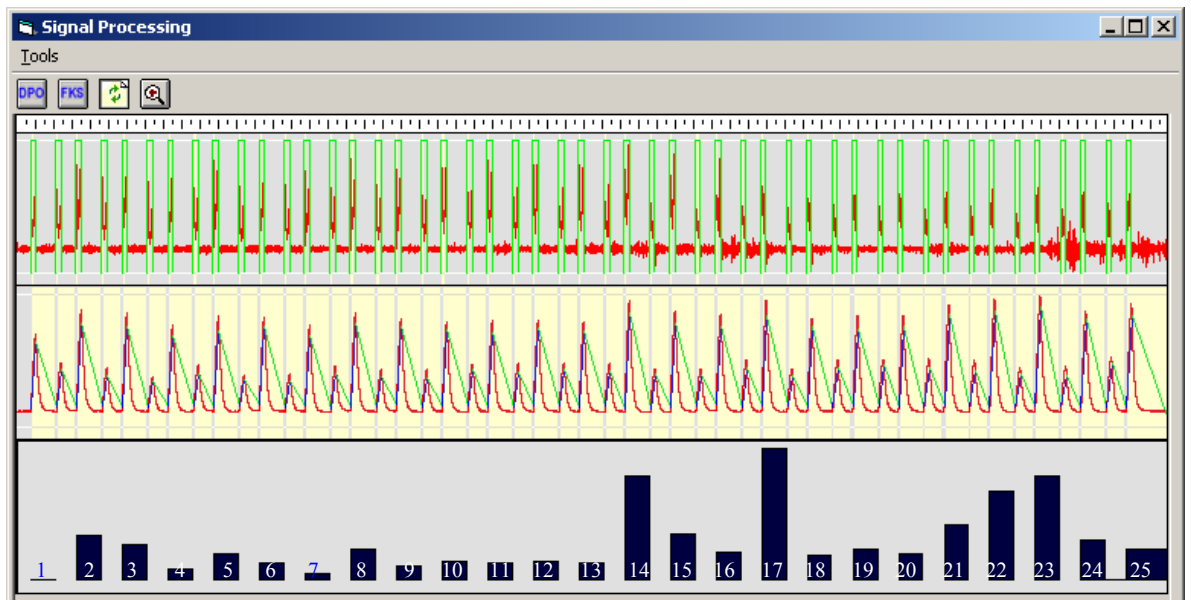


Figura 74 – Cálculo do Parâmetro DPKS para a Peça 3

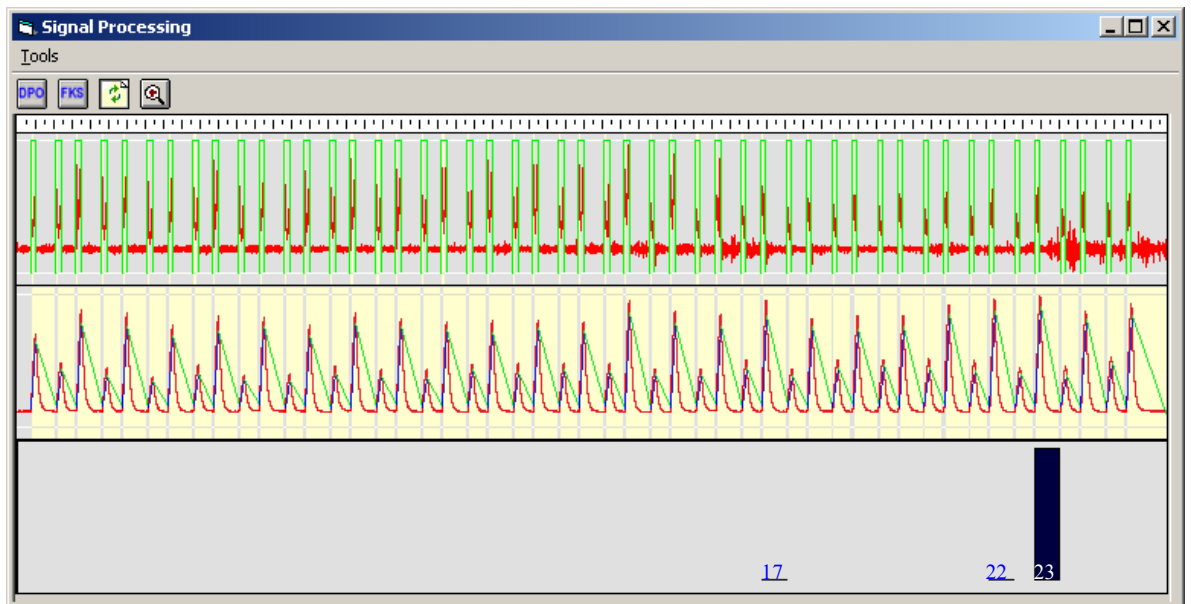


Figura 75 – Cálculo do Parâmetro DAREA para a Peça 3

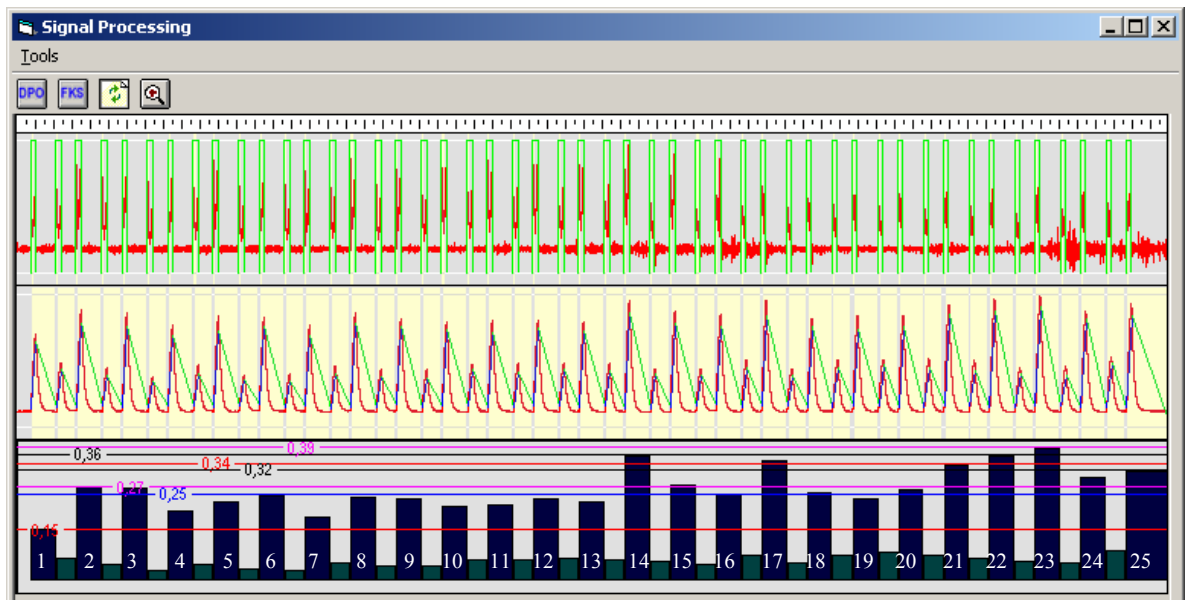


Figura 76 – Cálculo do Parâmetro DIFP para a Peça 3

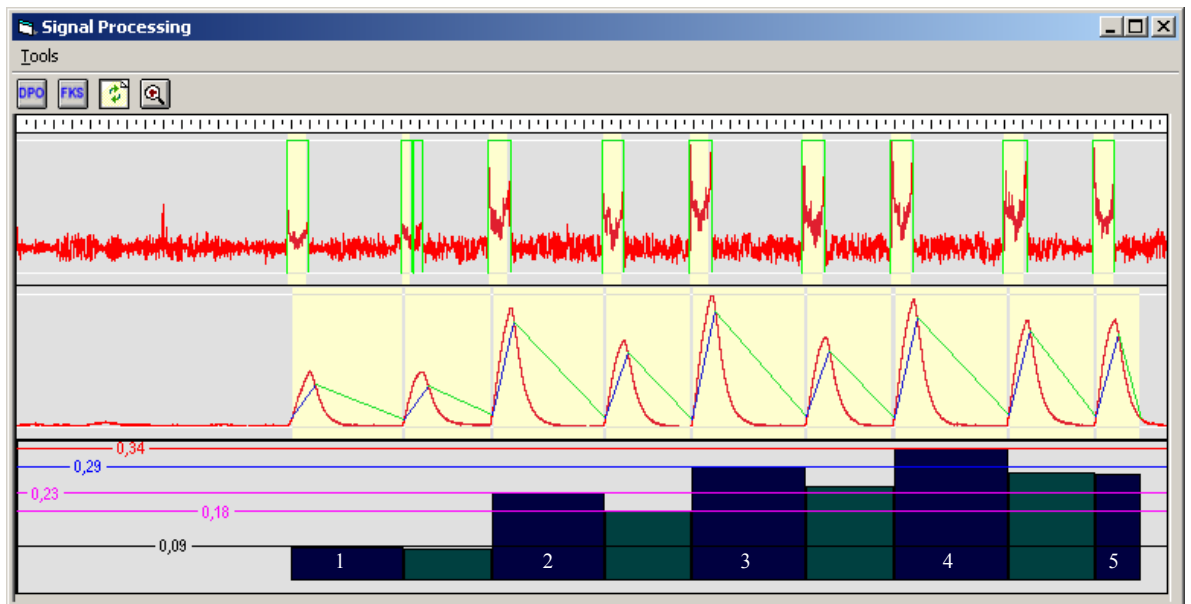


Figura 77 – Cálculo do Parâmetro DPO para a Peça 4

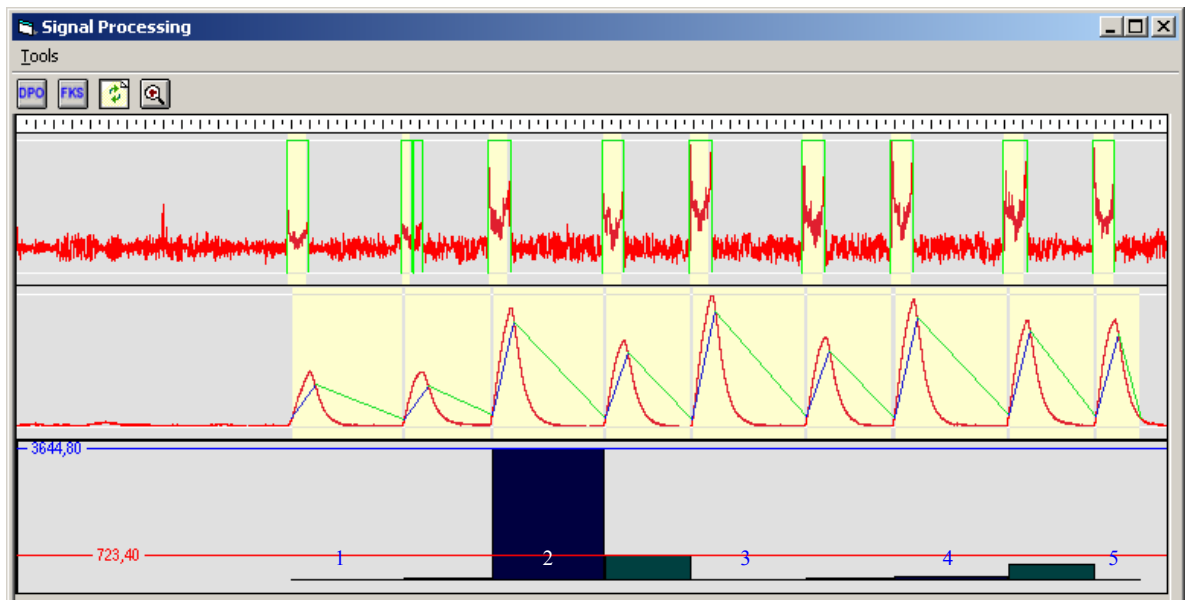


Figura 78 – Cálculo do Parâmetro FKS para a Peça 4

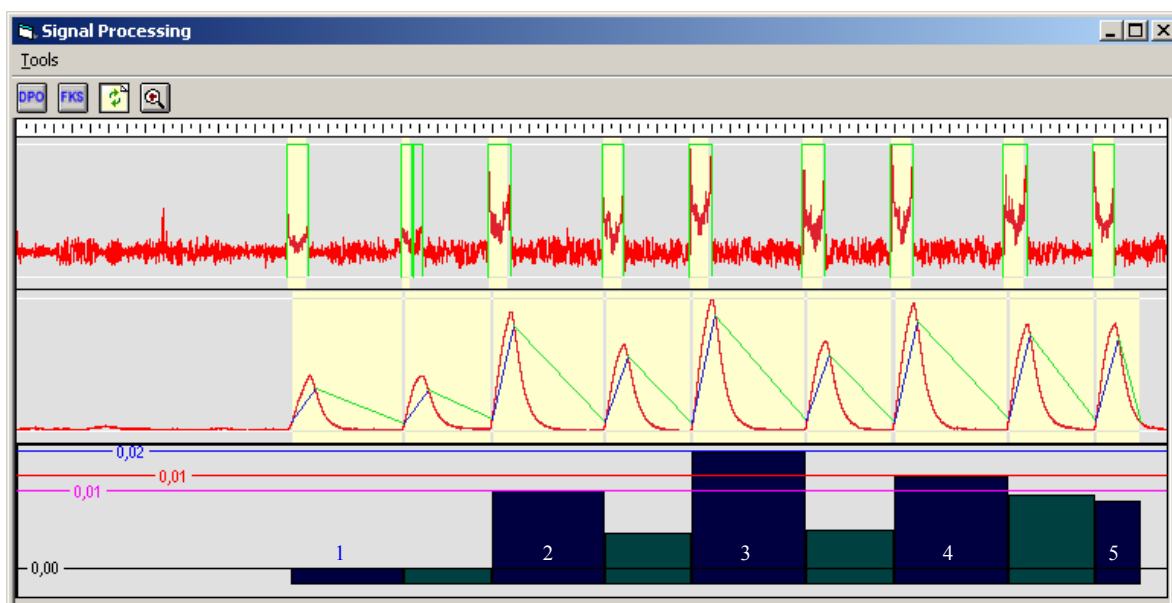


Figura 79 – Cálculo do Parâmetro DIFP para a Peça 4

Para se analisar os resultados montou-se às tabelas seguintes para cada um dos parâmetros de queima.

Tabela 10 – Análise do Parâmetro DPO

	Queima Leve	Queima Média	Queima Severa
Peça 1	0,85-1,03	1,03-1,63	não houve
Peça 2	0,58-0,61	0,68-0,77	não houve
Peça 3	0,97-1,41	1,41-1,75	1,82-2,27
Peça 4	Sem queima no intervalo de 0,09 a 0,34		

Tabela 11 – Análise do Parâmetro FKS

	Queima Leve	Queima Média	Queima Severa
Peça 1	4425	8717	Não houve
Peça 2	ND*	ND*	ND*
Peça 3	ND*	ND*	ND*
Peça 4	Sem queima no intervalo de 723 a 3644		

*ND – O parâmetro não detectou a queima

Tabela 12 – Análise do Parâmetro DPKS

	Início da Queima Real	Início da Queima encontrado pelo DPKS
Peça 1	Passada 2	Passadas 2, 10, 12, 16
Peça 2	Passada 6	Passadas 6, 14, 22
Peça 3	Passada 2	Passadas 14, 17, 23
Peça 4	Sem análise, pois não houve queima	

Tabela 13 – Análise do Parâmetro DAREA

	Passada de maior Queima Real	Passada de maior queima pelo DAREA
Peça 1	Passada 16	Passada 16
Peça 2	Passada 22	Passada 1
Peça 3	Passadas 13, 23, 24, 25	Passada 23
Peça 4	Sem análise, pois não houve queima	

Tabela 14 – Análise do Parâmetro DIFP

	Queima Leve	Queima Média	Queima Severa
Peça 1	0,10 - 0,13	0,13 - 0,21	não houve
Peça 2	0,04	0,05-0,09	não houve
Peça 3	0,15-0,22	0,25-0,27	0,27-0,39
Peça 4	Sem queima no intervalo de 0,00 a 0,02		

Os sinais coletados apresentaram nestes ensaios um nível de ruído superior ao ensaio com o aço ABNT 1045, mas o software de detecção reconheceu as passadas mesmo assim, comprovando a sua eficácia. Esta alta taxa de ruído pode ser observada nas figuras 72 a 76, onde o sinal de emissão acústica apresentou uma ligeira mudança na sua forma.

Os ensaios com o aço VC 131 apresentaram uma divergência maior nos resultados se comparado com o ABNT 1045, chegando em alguns casos a uma certa incoerência de valores.

O parâmetro DPO mostrado na Tabela 10 foi o que melhor representou a queima no processo, seguido pelo DIFP que não apresentou grande sensibilidade.

A situação de não queima representada pela peça 4, foi validada pelos parâmetros DPO, FKS e DIFP que apresentaram patamares satisfatórios comprovando que a peça não sofreu qualquer tipo de queima.

O parâmetro FKS (tabela 11) detectou na peça 1 a situação de queima leve e média, entretanto, nas demais peças não apresentou resultados satisfatórios indicando inclusive resultados incorretos.

A sensibilidade do parâmetro DPKS (tabela 12) não foi a mesma encontrada no ensaio com o aço ABNT 1045, pois, apesar de indicar a passada onde a queima se inicia em dois dos casos (peça 1 e peça 2), apresentou outros picos de valores em outras passadas que não corresponderam a esta situação. Na peça 4 este parâmetro não foi analisado, pois não havia a ocorrência de queima.

A definição de um limiar de queima neste caso (aço VC 131) foi sensivelmente mais difícil de ser encontrada, pois as regiões de queima leve, média e severa se sobrepuseram na maioria das análises. O parâmetro DIFP (tabela 14) permitiu a definição de um limiar entre queima e não queima seguro, mas não possibilitou subdividir a queima em leve, média e severa. Neste caso, o DPO foi o que apresentou melhor sensibilidade.

O parâmetro DAREA (tabela 13) apresentou resultados satisfatórios para a peça 1, entretanto, divergiu muito na peça 2. Para a peça 3, este parâmetro até detectou a situação de queima mais severa, entretanto, assim como no DPKS a sua sensibilidade também foi inferior a análise realizada com o aço ABNT 1045.

As figuras 80 a 83 apresentam a análise visual das peças após elas terem sido retiradas da retífica e, portanto, as imagens representam somente as últimas passada de cada uma das peças usinadas.

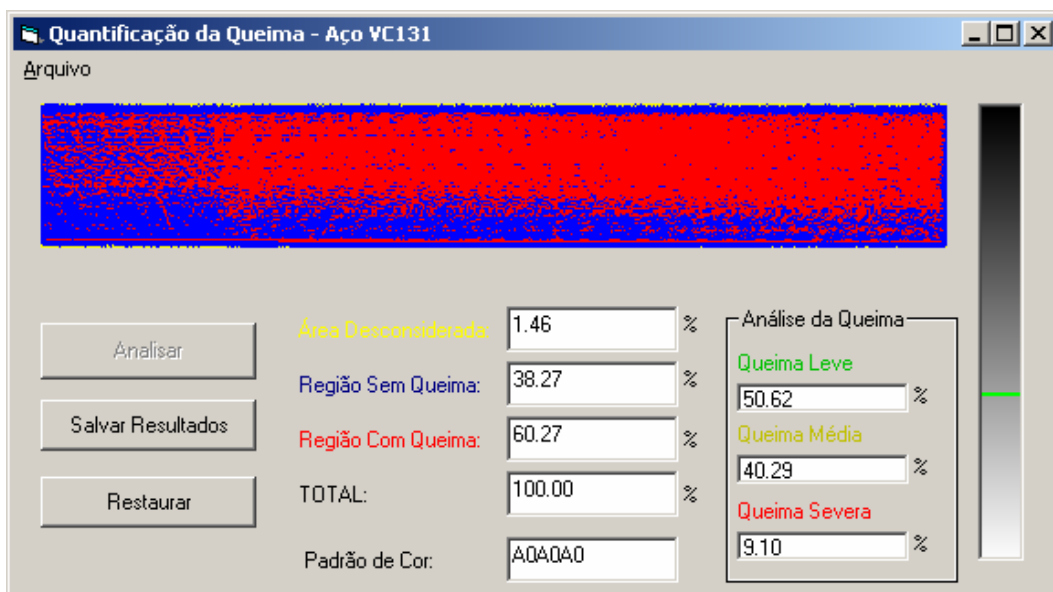


Figura 80 – Análise Visual da Peça 1

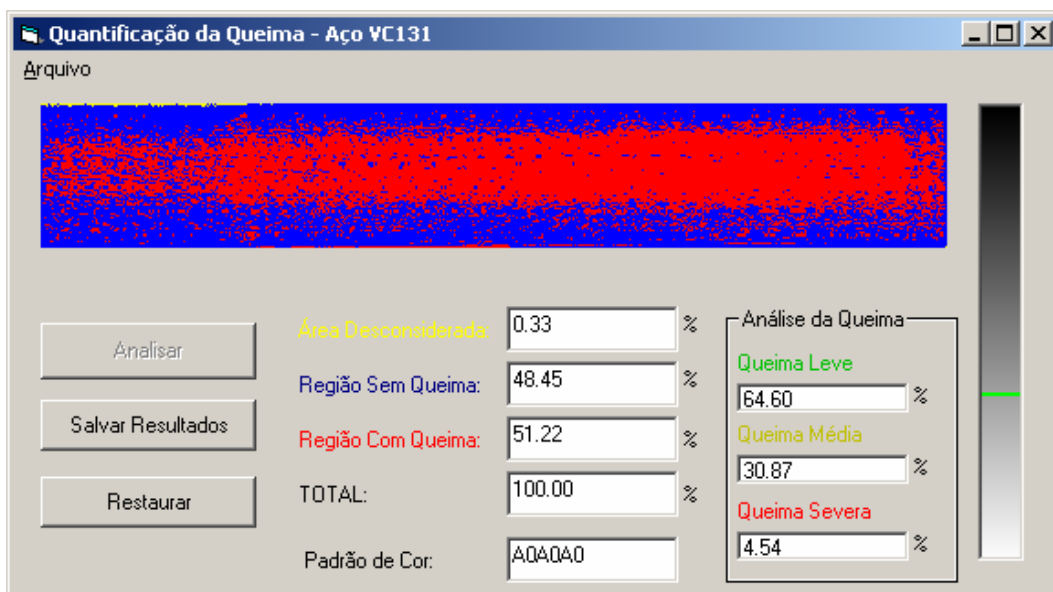


Figura 81 – Análise Visual da Peça 2

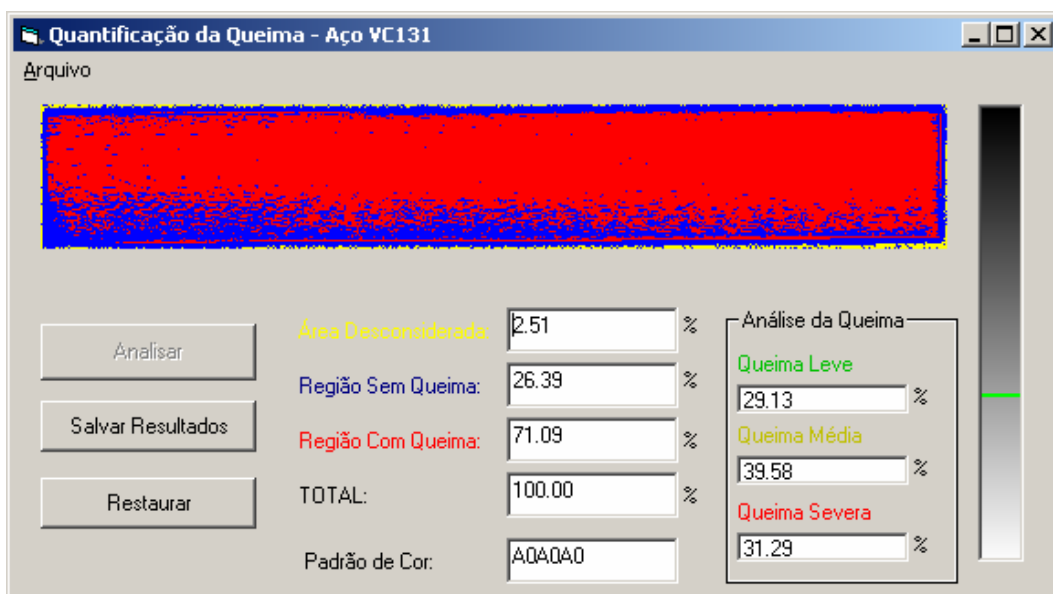


Figura 82 – Análise Visual da Peça 3

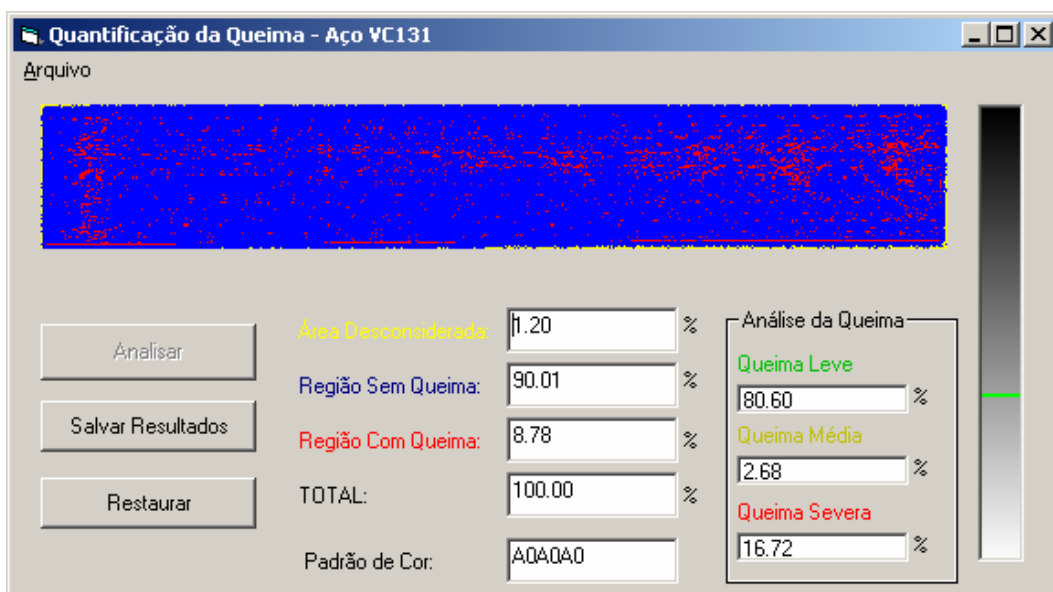


Figura 83 – Análise Visual da Peça 4

Pode-se notar através do processamento das imagens que a peça que sofreu maior grau de queima foi a peça 3 (figura 82) com 71% da região, tendo esta também o maior índice de queima severa (31%) se comparada as outras peças.

A peça 4 não apresentou queima significativa, como pode ser observado na Figura 83.

O maior índice de queima leve foi atribuído a peça 2 (figura 81), entretanto, a porcentagem da peça que sofreu queima foi apenas 51%, caracterizando assim uma queima parcial da peça.

Pode-se notar também que o maior índice de queima média foi atribuído a peça 1 (figura 82) com cerca de 40%, entretanto, apenas uma região da peça realmente sofreu queima (61%).

A seguir são apresentados os gráficos da análise da rugosidade das peças ensaiadas. Mais uma vez torna-se importante lembrar que esta análise refere-se apenas a última passada.

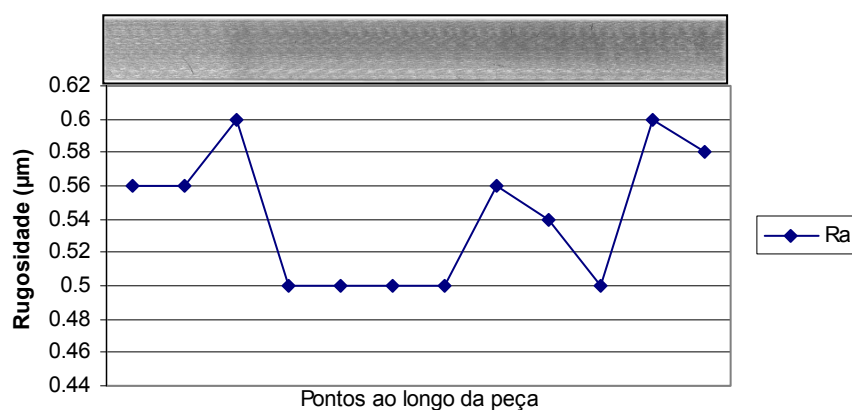


Figura 84 – Análise de Rugosidade da Peça 1

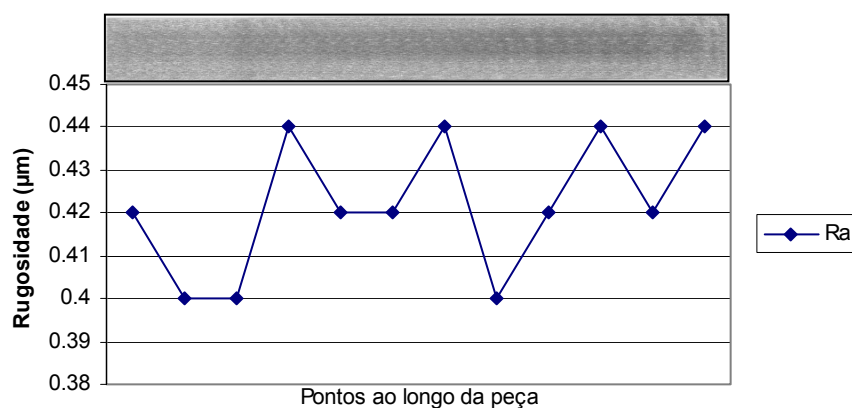


Figura 85 – Análise de Rugosidade da Peça 2

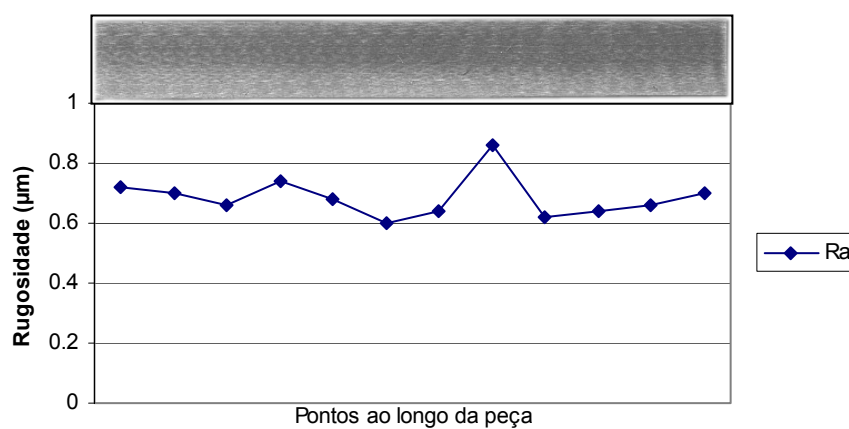


Figura 86 – Análise de Rugosidade da Peça 3

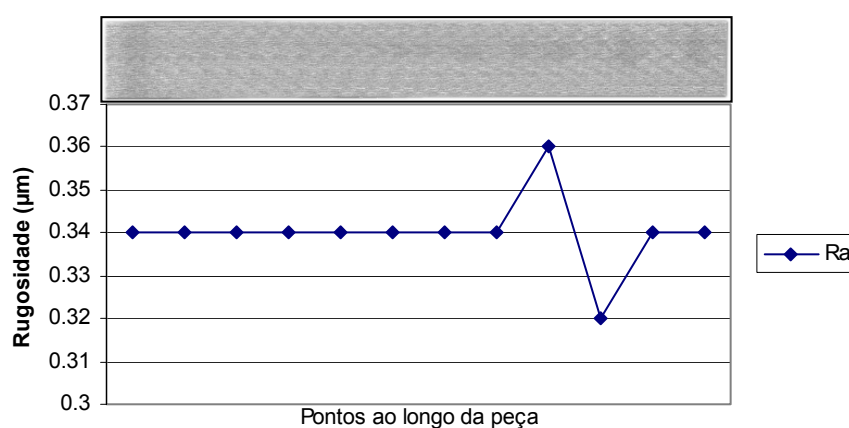


Figura 87 – Análise de Rugosidade da Peça 4

Através da análise do gráfico da rugosidade da peça 4 (figura 87) e da sua respectiva análise visual (figura 83) pode-se notar que não houve queima significativa, pois a rugosidade ficou com patamar relativamente baixo ($0,34\mu\text{m}$) e o processamento da imagem apresentou uma pequena região com queima (cerca de 8%).

A Figura 84 mostra que a queima se concentra mais nas extremidades da peça 1, onde um alto índice de rugosidade pode ser observado.

As figuras 84 e 85 apresentaram uma oscilação da rugosidade por toda a peça caracterizando, portanto, uma distribuição irregular da queima. As figuras 80 e 81 (análise visual) comprovam tal afirmação, pois apresentam espalhamento nos pontos de queima representados pela cor vermelha.

Por outro lado, a peça 3 apresentou uma região de queima mais uniforme que pode ser comprovada tanto pela análise visual (figura 82) quanto pela análise da rugosidade (figura 86).

Após a realização de todas as análises pode-se definir os limiares de queima para o Aço VC 131 nas condições de usinagem descritas anteriormente. A Tabela 15 apresenta um resumo de todos os resultados obtidos com a definição dos limiares de queima para cada parâmetro.

Tabela 15 – Definição dos Limiares de Queima

	DPO	DIFP	FKS	DPKS	DAREA
Queima Severa	>1,82	>0,27	ND*	-	Detectou*
Queima Média	>0,68	>0,05	ND*	-	-
Queima Leve	>0,58	>0,04	ND*	Detectou*	-

*ND – O parâmetro não detectou a queima

Detectou* - DPKS e DAREA funcionaram em 2 de 3 peças analisadas

O único parâmetro que realmente não apresentou resultados positivos satisfatórios foi o FKS que apesar de ter indicado uma situação de queima para a peça 1, não ofereceu coerência na análise das outras peças e, portanto, não indicado para este tipo de aço, segundo os ensaios realizados.

O parâmetro DPO apresentou os melhores resultados, indicando uma situação de queima leve para patamares superiores a 0,58, queima média para patamares superiores a 0,68 e queima severa para patamares superiores a 1,82.

O parâmetro DIFP apesar de apresentar menos sensibilidade que o parâmetro DPO pode definir um patamar seguro entre uma situação de queima e não queima, entretanto, definir um limiar de queima leve, média e severa tornou-se muito difícil, pois uma variação de 0,01 (de 0,04 para 0,05) sinaliza uma mudança de queima leve para média. Esta variação, mesmo existindo não caracteriza com segurança um patamar entre queima leve e média.

A detecção de início da queima foi sinalizada pelo parâmetro DPSK, entretanto, o mesmo apresentou pouca sensibilidade indicando início de queima em outras passadas além daquela que realmente iniciou a queima. Para a peça 3 este parâmetro errou completamente apresentando um resultado falso.

O parâmetro DAREA detectou a passada de maior queima em duas das três peças analisadas, apresentando sensibilidade similar ao parâmetro DPKS.

Capítulo 5. Conclusões

5.1. Conclusões Gerais

Com base em todos os resultados apresentados neste trabalho pode-se notar que o software foi desenvolvido com o intuito de ser o mais abrangente possível, mas sempre considerando o processo de retificação do tipo tangencial plana.

O software apresentou ótima performance, entretanto, é importante notar-se que o bom desempenho do software está associado à utilização de um parâmetro de queima correto, pois o uso inadequado de tais parâmetros pode deixar o desempenho do processo de retificação comprometido.

A inclusão de registros no banco de dados do software desenvolvido pode ser realizada conforme os ensaios vão ocorrendo, permitindo a geração de um cadastro geral de condições de usinagem associadas a um determinado parâmetro de queima.

Como pretendido, o monitoramento e a mudança de parâmetros são possíveis agora através de um acesso remoto. Não houve problemas quanto à comunicação, pois como discutido anteriormente, o protocolo TCP da camada de transporte garante uma comunicação livre de erros pela Internet.

A segurança obtida pelo processo de criptografia discutido apresentou bons resultados, mas pode-se notar uma certa demora na comunicação, pois os dados agora necessitam ser criptografados e descriptografados toda vez que uma mensagem é enviada ou recebida. Mesmo assim não houve problemas quanto ao processamento On-Line da Queima.

Por outro lado, se a taxa de amostragem da placa de aquisição de dados for aumentada, o algoritmo produzirá perdas de pontos na aquisição dos sinais, por isso, o máximo atingido sem perdas foi de 100000 amostras por segundo utilizando um computador de excelente desempenho. Mesmo assim, este valor está bem acima do esperado, pois somente 1000 amostras por segundo já seriam suficientes para o processamento dos parâmetros de queima.

O software para a Quantificação da Queima apresentou resultados muito similares ao da rugosidade superficial, comprovando a sua eficácia. Mesmo com algumas pequenas diferenças, foi possível notar ótimos resultados na maioria dos casos estudados.

Todos os parâmetros apresentaram-se satisfatórios, exceto o FKS que falhou em todas as análises. Tanto o DPO quanto o DIFP apresentaram uma eficácia excelente para o aço ABNT 1045, podendo assim ser aplicados em situações práticas sem muitos problemas. Para o aço VC 131, o parâmetro DPO apresentou sensibilidade superior ao DIFP, entretanto, ambos conseguiram definir limiares de queima.

Os parâmetros DPKS e DAREA atingiram os objetivos esperados para o aço ABNT 1045, mostrando as regiões onde a queima se iniciava e o ponto de maior queima no processo. Por outro lado, mostraram-se pouco sensíveis a análise com o aço VC 131.

Pode-se afirmar, portanto, que os parâmetros podem ser usados em conjunto para oferecer resultados mais precisos evitando que alguma decisão precipitada seja tomada (para os aços ABNT1045 e VC131).

5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros

- Detecção de queima utilizando o processamento de imagens;
- Adição de módulo para predição de queima por limite de potência por área de contato;
- Controle do processo de retificação em malha fechada visando um melhor desempenho do sistema;
- Metodologia de desenvolvimento de equipamentos para a detecção da queima on-line usando microcontroladores ou microprocessadores;
- Desenvolvimento de rotinas para a detecção de queima no Processo de retificação cilíndrica;
- Desenvolvimento de outros módulos de monitoramento agregados ao software, tal como o controle da dressagem e detecção de contato;

Referências Bibliográficas

- ❖ AGUIAR, P. R., Controle Automático de Danos Térmicos na Usinagem por Abrasão através do Processamento de Sinais de Emissão Acústica e Potência Elétrica. Bauru, 2003. Tese (Livre Docência em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Bauru, UNESP.
- ❖ AGUIAR, P. R., Monitoramento da Queima Superficial em Processo de Usinagem por Retificação usando a Potência Elétrica do Motor de Acionamento e Emissão Acústica. São Paulo, 1997. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- ❖ AGUIAR, P. R., WILLETT, P., WEBSTER, J. Acoustic Emission Applied to Detect Workpiece Burn During Grinding. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ACOUSTIC EMISSION: STANDARDS AND TECHNOLOGY UPDATE, S. Vahaviolos, Ed. Fort Lauderdale, FL, January 1999.
- ❖ AGUIAR, P. R., BIANCHI, E. C., OLIVEIRA, J. F. G. A Method for Burning Detection in Grinding Process Using Acoustic Emission and Effective Electrical Power Signals. In: CIRP JOURNAL OF MANUFACTURING SYSTEMS. Paris, v.31, n.3, p.253 - 257, 2002.
- ❖ ALVARES, A. J., FERREIRA, J. C. E. Método para Implementação de Laboratórios Remotos via Internet na Área de Automação da Manufatura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, Uberlândia – Minas Gerais, 18 a 21 de Maio de 2003.
- ❖ BERKOVITS, A. e FANG, D. Study of Fatigue Crack Characteristics by Acoustic Emission, In: ENGINEERING FRACTURE MECHANICS, v. 51(3), 1995, pp. 401-416.
- ❖ BIANCHI, E. C. Ação das Condições de Dressagem na Retificação de Precisão. São Carlos, 1991. Monografia (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ❖ BIANCHI, E. C., SANCHES, L. E. A., FERNANDES, O. C., MOGAMI, O., SILVA JR, C. E., AGUIAR, P. R. Análise do Comportamento de Rebolos

- Convencionais na Retificação de Aços Frágeis, In: IV CONGRESSO NORTE NORDESTE DE ENGENHARIA MECÂNICA, Recife-PE, 1996. p.335-340.
- ❖ BIANCHI, E. C., SANCHES, L. E. A., FERNANDES, O. C., MOGAMI, O., SILVA JR, C. E. & AGUIAR, P. R. Análise do Comportamento de Rebolos Convencionais na Retificação de Aços Dúcteis. In: IV CONGRESSO NORTE NORDESTE DE ENGENHARIA MECÂNICA, Recife-PE, 1996, p. 387-392.
 - ❖ BIFANO, T. G., YI, Y. Acoustic Emission as na Indicator of Material-Removal Regime in Glass Micro-Machining. In: PRECISION ENGINEERING, v. 4, n. 4, October 1992, pp. 219-227.
 - ❖ BLUM, T. & DORNFELD, D. A. Grinding Process Feedback using Acoustic Emission. In: 4TH INTERNATIONAL GRINDING CONFERENCE, Dearborn (Detroit), Michigan, October 1990.
 - ❖ CHANG, Y. P. e .DORNFLED, D. A. Chatter and Surface Pattern Detection for Cylindrical Grinding Using a Fluid Coupled Acoustic Emission Sensor, 1993, p. 159-167.
 - ❖ COMER, D. E. Internetworking with TCP/IP. Principles, Protocols and Architecture. Second Edition, Prentice-Hall International, 1991, v.1.
 - ❖ DALLY, J. W., RILEY, W. F., McCONNELL, K. G., Instrumentation for Engineering Measurements, Second Edition, John Willey & Sons Inc, 1993.
 - ❖ DAMASCENO, A., Aprendendo JAVA Programação na Internet. Apontamentos na Arquitetura Cliente/Servidor, Terceira Edição, Editora Érica, 1996.
 - ❖ DINIZ, A. E., CUPINI, N. L.; VILELLA, R. C. Monitoramento do processo de usinagem por emissão acústica. XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, São Paulo, dezembro de 1991.
 - ❖ DORNFELD, D., Acoustic Emission Process Monitoring for Untended Manufacturing, In: JAPAN-USA SYMPOSIUM ON FLEXIBLE AUTOMATION. Osaka, Japan, 1986. p. 831-836.
 - ❖ DORNFELD, D. A., Application of Acoustic Emission Techniques in Manufacturing, In: NDT&E INT., 1992, v.25, p. 259-269.

- ❖ DOTTO, F. R. L., AGUIAR, P. R., BIANCHI, E. C. Sistema Inteligente de Detecção Automática On-Line de Danos Térmicos no Processo de Retificação com Monitoramento via Internet. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 2002, n.746.
- ❖ DOTTO, F. R. L., AGUIAR, P. R., BIANCHI, E. C. In-Process Thermal Damage Detection in Grinding with Monitoring via Internet. In: SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL, AUTOMATION, ROBOTIC AND VISION, Cingapura, 2002, v.34. p.434 – 440.
- ❖ ECKHOUSE, Panel Discussion on Distributed Processing, In: NATIONAL CONFERENCE, Anaheim, California, Junho de 1978.
- ❖ FERREIRA J. C. E., NUNES, J. P. C. S., Simulação de Sistemas de Manufatura através da Internet, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, Uberlândia – Minas Gerais, 18 a 21 de Maio de 2003.
- ❖ HASSUI, A., Estudo da Vibração Durante o Corte e Centelhamento na Retificação Cilíndrica de Mergulho, Campinas, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade de Campinas, UNICAMP.
- ❖ INASAKI, I., Application of Acoustic Emission Sensor for Monitoring Machining Processes, In: ULTRASONIC, 1998, v.36, p. 273-281.
- ❖ INASAKI, I. Sensor Fusion for Monitoring and Controlling Grinding Processes. In: THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, 1999, p. 730-736.
- ❖ INASAKI, I. & OKAMURA, K. Monitoring of dressing and grinding processes with acoustic emission signals. In: CIRP. Annals of the CIRP, v. 34/1, 1985. p. 277-280.
- ❖ JEMIELNIAK, K. Some Aspects of Acoustic Emission Signal Processing. In: CIRP, Annals of the CIRP, 1997, pp. 1-8.
- ❖ JOHNSON, C. D. Process Control Instrumentation Technology, Prentice Hall, 5 ed. New Jersey, 1997, 638p.
- ❖ JUNIOR, J. F., Contribuição para Implementação de Função de Retificação Inteligente (RI) Utilizando Técnicas de Monitoramento por Emissão Acústica,

- Cilíndrica de Mergulho. São Carlos, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ❖ KEISER G., Local Area Network, Mc Graw Hill Book co., 1989.
 - ❖ KING, R. I. & HAHN, R. S. Handbook of modern technology. 3 New York, Chapman and Hall, 1986.
 - ❖ KLUFT, W., A Monitoração dos Processos Reduz Custos e Desperdícios. In: REVISTA MÁQUINAS & METAIS, Outubro 1994, v. 10, p. 60-80.
 - ❖ KOENIG, W. e MEYEN, H. P. AE in Grinding and Dressing: Accuracy and Process Reliability. In: 4TH INT. GRINDING CONFERENCE, SME Paper MR90-526, October 9-11, 1990.
 - ❖ KOENIG, W. e KLUMPEN, T. Monitoring and Sensor Concepts for Higher Process Reliability, In: 5TH INT. GRINDING CONFERENCE, Cincinnati, Ohio, October 26-28, 1993.
 - ❖ KÖNIG, W. Fertigungsverfahren Band 2, Schleifen, Honen, Laepten. In: VDI VERLAG, Dusseldorf, 1980.
 - ❖ MALKIN, S. Grinding technology: theory and applications of machining abrasives. England: Ellis Horwood Limited, 1989, 275p.
 - ❖ MARTINS R. X., Apostila de TCP/IP, Material técnico do curso de Computação da Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.
 - ❖ MILLER, P. TCP/IP Explained, Editora Digital Press, USA, 1997.
 - ❖ MOKBEL, A. A., MAKSOUND, T. M. A., Monitoring of the Condition of Diamond Grinding Wheels Using Acoustic Emission Technique. In: JOURNAL OF MATERIALS PROCESSING TECHNOLOGY, 2000, v.101, p. 292-297.
 - ❖ MOTA, A., FONSECA, J. A., SANTOS, F., Low Cost Data Acquisition Systems Based on Standard Interface. In: IEEE, 1998, p.433-437.
 - ❖ OLIVEIRA, J. F. G., COELHO, R. T., TUNDISI, E. J., GOMES, J. J. F., BELLINI, P. H. C. A, New System to Get Information About the Grinding Wheel Performance. IN: ABRASIVES. Estados Unidos, v.01, n.03, 2000, p.24-30.

- ❖ OPPENNHEIM, A. V., WILLSKY, A. S. Signals & Systems, Second Edition, Prentice Hall, 1998.
- ❖ PANSANATO, L., AGUIAR, P. R., BIANCHI, E. C., MORI, A. K. O Processamento do Sinal Bruto de Emissão Acústica e Velocidade de Corte na Detecção de Dano Térmico na Retificação Plana. In: CONGRESSO SAE BRASIL, São Paulo, 2002, n.276, p. 1-6.
- ❖ PATHARE, S., GAO, R., VARGHESE B., A DSP-Based Telemetric Data Acquisition System for In-Process Monitoring of Grinding Operation, In: IEEE INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, TECHNOLOGY CONFERENCE, St. Paul, Minnesota, USA, May 18-21, 1998, p. 191-196.
- ❖ POSTEL, J. B. Transmission Control Protocol – Darpa Internet Program Protocol Specification. In: REQUEST FOR COMMENTS 793, University of Southern California / Information Science Institute, September 1981.
- ❖ POSTEL, J. B. Internet Protocol – Darpa Internet Program Protocol Specification. In: REQUEST FOR COMMENTS 791, University of Southern California / Information Science Institute, September 1981.
- ❖ PROAKIS, J. G., MANOLAKIS, D. G., Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications. Third Edition, Prentice Hall, 1996.
- ❖ ROSE, M. T. The open book: a Practical Perspective on OSI. Prentice Hall Inc., 1990.
- ❖ SALMON, S. C. Unpublished work, University of Bristol, 1988.
- ❖ SARAVANAPRIYAN, A., VIJAYARAGHAVAN, L., KRISHNAMURTHY R., On-Line Detection of Grinding Burn by Integrated Sensing, In: SICON 01 SENSORS FOR INDUSTRY CONFERENCE, Resemount, Illinois, USA, November 2001, pp. 89-94.
- ❖ SHAFTO, G. R. Creep Feed Grinding, Ph.D. Thesis, University of Bristol, 1975.
- ❖ SMITH, S. W., The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, Second Edition, California Technical Publishing, San Diego, California, 1999.

- ❖ SOARES, L. F. G., LEMOS, G., COLCHER, S., Redes de Computadores: Das LANs, MANs e WANs, às Redes ATM., 2ª Edição, Editora Campus, 1998.
- ❖ SOARES, D. D., OLIVEIRA, F. G., Diagnostico de Processo de Retificação pela Analise de Sinais. In: REVISTA MÁQUINAS & METAIS, Maio 2002, p.140-157.
- ❖ TÖRNHOFF, H. K. et al. Development and Trends in Monitoring and Control of Machining Processes. In: CIRP, Annals of the CIRP, v. 37/12/1988. p. 611-621.
- ❖ WANG, Z., WILLETT, P., AGUIAR, P. R., WEBSTER, J., Neural Network Detection Grinding Burn from Acoustic Emission. In: INTERNATIONAL JOURNAL OF MACHINE TOOLS & MANUFACTURE, v. 41, 2001, p. 283-309.
- ❖ WASCHKIES, E., SKLARCZYK, C., AND HEPP, K. Tool Wear Monitoring at Turning. In: ASME JOURNAL OF ENGINEERING AND INDUSTRY, v. 116, 1994, p. 521-524.
- ❖ WEBSTER, J., DONG., W. P., LINDSAY, R. Raw Acoustic Emission Signal Analysis of Grinding Process. In: CIRP, Annals of the CIRP, v.45/1/1995, p. 335-340.
- ❖ WEBSTER, J.; MARINESCU, I.; BENNET, R. Acoustic emission for process control and monitoring of surface integrity during grinding. In: CIRP, Annals of the CIRP, v. 43/1, 1994. p. 299-304.
- ❖ WERNER, J. A., Apostila de Internet e Arquitetura TCP/IP, Apostila do curso de Ciências da Computação, Pontifca Universidade Católica, Rio de Janeiro, 1998.
- ❖ XIAO, G. & MALKIN, S. On-line optimization for internal grinding process. In: CIRP, Annals of the CIRP, v. 45/1, 1996. p. 287-292.
- ❖ YASUI, H. & TSUKUDA, S. Influence of Fluid Type of Wet Grinding Temperature. Bull. In: JAPAN SOC. OF PREC. ENG. , 1983, v. 17, n. 2, p. 133-134.

Anexo I

Manual de Operação do Software
“Grinding Analyses”

1. Introdução

O processo de retificação é o último processo da etapa de fabricação e, por isso, qualquer defeito ocasionado nesta etapa poderá acarretar em um aumento significativo de custos, diminuindo assim os lucros e deixando o produto final menos competitivo.

O objetivo deste software, que foi desenvolvido em *Visual Basic* é contribuir para o monitoramento e diagnóstico da queima no processo de retificação, ou seja, uma ferramenta que, em associação com outras ferramentas de retificação inteligente possa contribuir para o controle do processo de retificação tangencial plana.

O software desenvolvido foi dividido em 5 etapas principais:

1. Configurações Gerais
2. Ferramentas Complementares
3. Processamento Off-Line e On-Line
4. Banco de Dados
5. Internet

A etapa configurações gerais consiste de todas as funções e parâmetros que devem ser introduzidos pelo operador para que o software trabalhe corretamente, como: taxa de amostragem, resolução dos gráficos, localização da base de dados, diretório de trabalho, etc.

As ferramentas complementares auxiliam o operador em funções de manipulação de dados, como: importação e exportação de arquivos, reamostragem de sinais, filtragem, etc.

A etapa de processamento off-line torna possível o desenvolvimento de outros parâmetros de queima com maior rapidez e ainda permite análises rápidas nos sinais adquiridos pelo computador. Dados originados pelo *MatLab* podem ser importados e tratados pelo software desenvolvido, bem como exportados novamente ao *MatLab* após o processamento, facilitando a realização de outras análises que se fizerem necessárias. Durante o processamento off-line rotinas foram desenvolvidas para a detecção automática de passadas do rebolo, detecção de *spark-out*, etc. Estas rotinas foram desenvolvidas para se

tornarem auto-ajustáveis, o que garante a não interferência do usuário para que elas funcionem, por exemplo, as passadas são extraídas automaticamente através de funções avançadas de processamento digital de sinais sem qualquer interferência adicional do usuário.

As rotinas de processamento on-line são similares às rotinas de Processamento Off-Line, pois a única diferença é que os dados (agora) são adquiridos diretamente da placa de aquisição de dados, não necessitando a sua importação ou qualquer software adicional. Antes da implementação deste software, os dados eram normalmente adquiridos usando programas para este fim, como o *LabView*[®] e armazenados em disco. Em seguida, um outro software tinha que ser usado para converter os dados armazenados no disco rígido para um formato adequado que o software de processamento pudesse reconhecer. Após esta conversão os dados eram então lidos pelo software de processamento de sinais, filtrados e processados. Para compará-los era necessário plotá-los em escala para posterior análise. O software desenvolvido substitui todas as etapas, pois através dele é possível fazer todas estas funções.

A Base de Dados (Banco de Dados) é responsável pelo armazenamento de ensaios realizados, possibilitando que limiares de queima possam ser fixados para cada tipo de condição de usinagem. Durante o controle da queima em um processo de retificação, esta base poderá ser consultada para que o parâmetro correto seja escolhido e assim o limiar de queima seja atualizado e conseqüentemente a queima possa ser detectada.

A etapa Internet consiste da elaboração de rotinas que permitem o monitoramento remoto da queima, com a possibilidade da mudança de parâmetros enquanto o processo ocorre.

As figuras a seguir mostram a aparência da janela de inicialização (figura 1) e da janela principal (figura 2) do software desenvolvido.

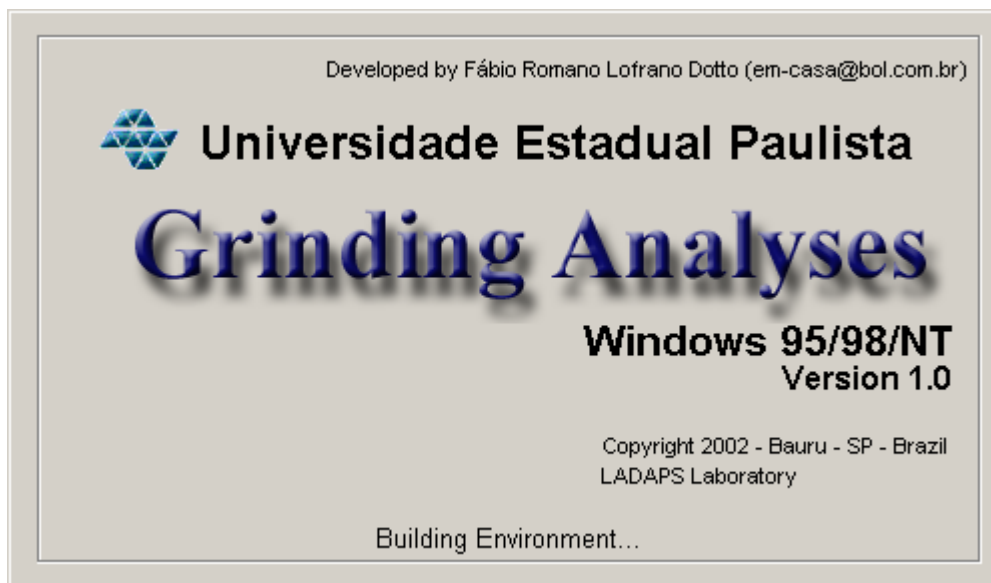


Figura 1 – Janela de Inicialização



Figura 2 – Janela Principal

2. Configurações Gerais (*General Settings*)

O item Configurações Gerais é subdividido em 5 partes: Informações Gerais (*General Information*), *Hardware*, Propriedades Gráficas (*Graphic Properties*), Base de Dados (*Database*) e Avançado (*Advanced*).

Em cada uma destas partes existem parâmetros que são específicos e devem ser definidos quando uma nova aplicação é criada através do software. Quando a opção Novo (*New*) do menu Projeto (*Project*) da janela principal é selecionada, o usuário deverá definir todos estes parâmetros para que uma nova aplicação seja criada. A qualquer momento estes parâmetros também podem ser alterados pelo usuário.

Conforme citado anteriormente, estes parâmetros são globais e essenciais para o correto funcionamento do software. Cada uma destas subdivisões serão apresentadas a seguir.

2.1. Informações Gerais (*General Informations*)

Nesse item estão contidas todas as informações básicas do software: Nome do Arquivo (*File Name*), Diretório de Trabalho (*Work Directory*), Título do Projeto (*Project Title*) e Comprimento de Tempo (*Time Length*). A Figura 3 mostra a aparência da janela *General Informations*.

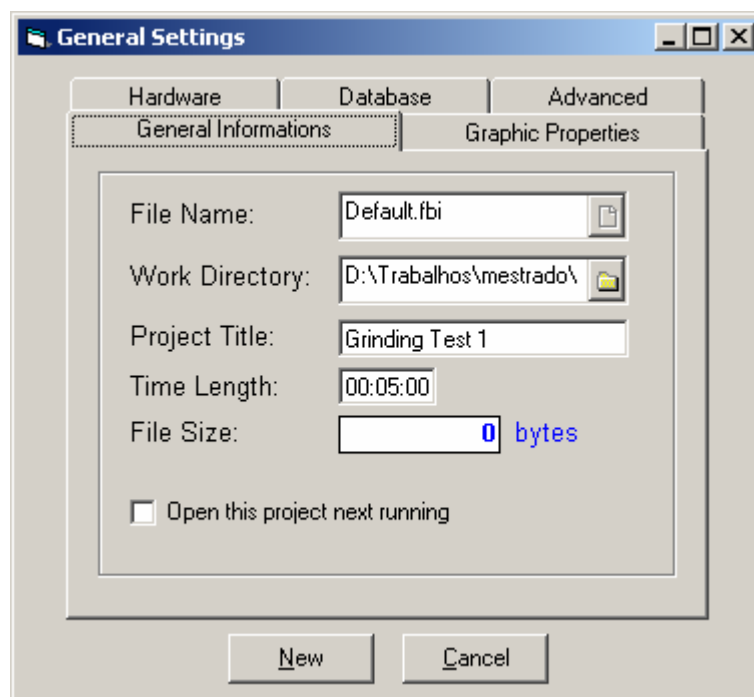
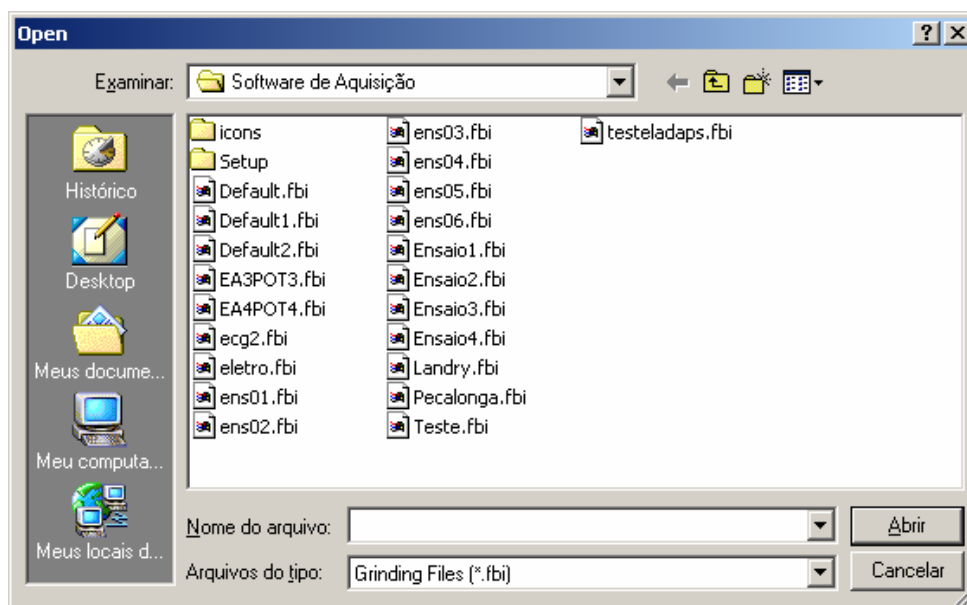


Figura 3 – Janela Informações Gerais (*General Informations*)

O item “Nome do Arquivo” permite ao usuário definir o nome do projeto que será dado a este ensaio. Este nome refere-se ao arquivo que será escrito em disco. Quando uma aplicação já foi criada anteriormente, pode-se abri-la a qualquer instante bastando para isso acessar o subitem *Open* do menu *Project* da Janela Principal. A Figura 4 mostra a aparência da janela abrir.

O campo “Diretório de Trabalho” refere-se ao diretório que será destinado para a manipulação de arquivos. Este será o diretório padrão para a manipulação de dados. Clicando no ícone ao lado deste campo aparecerá uma janela que permitirá a procura pelo diretório de trabalho de forma intuitiva. A Figura 18 mostra a aparência desta janela.

Um nome amigável pode ser dado ao projeto utilizando o campo “Título do Projeto” para isso. Toda vez que o projeto for aberto aparecerá o nome amigável na parte superior da janela principal.

Figura 4 – Janela *Open*

O “Comprimento de Tempo” (*Time Length*) permite ao usuário definir qual a maior largura de tempo de aquisição disponível. Este parâmetro permite ao sistema determinar qual o espaço em disco necessário para fazer a aquisição dos dados e também reservar recursos do sistema para que a aplicação funcione sem maiores problemas. O formato deste campo deve ser sempre horas:minutos:segundos, por exemplo, 15 minutos de aquisição deve ser representado por 00:15:00.

O Tamanho do Arquivo (*File Size*) não é um parâmetro de entrada, mas sim de saída. Através deste parâmetro o software apresenta ao usuário o tamanho do arquivo em disco necessário para que a sua aplicação seja criada. Este parâmetro depende de outros parâmetros como taxa de amostragem, número de canais e comprimento de tempo. O método usado para trabalhar com arquivos permite tamanhos de até 1Gbytes no Windows 95/98 e 2Gbytes no Windows 2000/NT.

A caixa “*Open this Project next running*” quando marcada informa ao sistema que quando o software for reiniciado esta aplicação deve ser aberta como padrão.

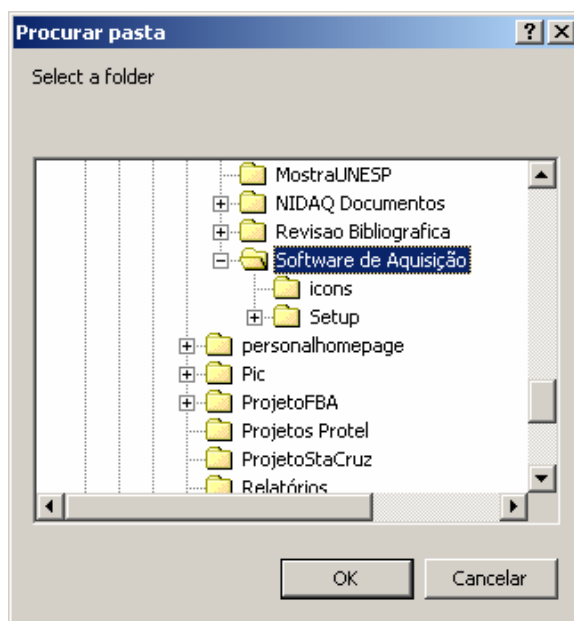


Figura 5 – Janela Procurar Pasta na busca do Diretório de Trabalho

2.2. Propriedades Gráficas (*Graphic Properties*)

A Figura 6 mostra a aparência da janela “*Graphic Properties*”.

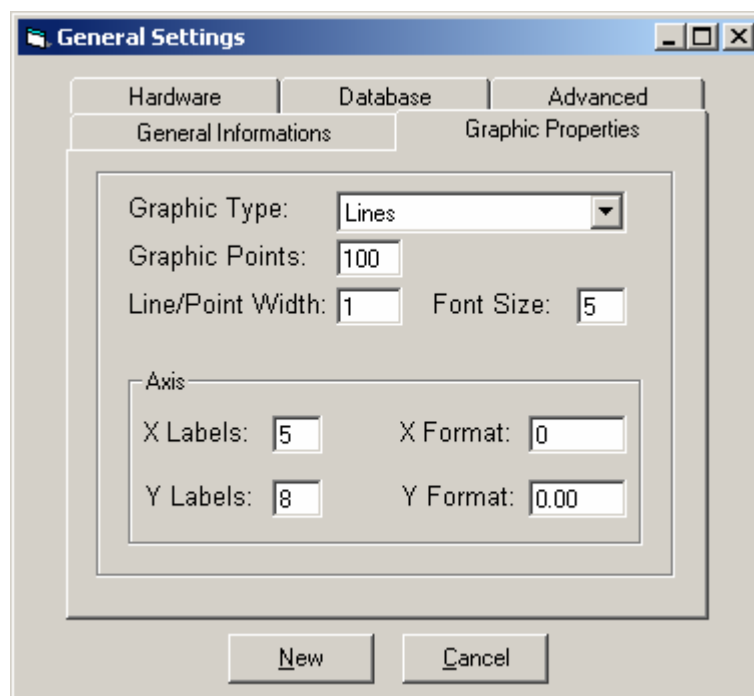


Figura 6 – Janela “*Graphic Properties*”

As propriedades gráficas referem-se aos gráficos mostrados no software, ou seja, através desta janela é possível definir a aparência de todos os gráficos, por exemplo, utilizando o parâmetro “*Graphic Points*” define-se o número de pontos que o eixo das abscissas deve ter.

A propriedade Tipo de Gráfico (*Graphic Type*) possibilita ao usuário escolher os tipos de gráficos exibidos: gráficos exibidos em linhas ou pontos.

Através da propriedade Largura da Linha ou Ponto (*Line/Point Width*) o usuário pode definir a largura da linha ou do ponto que será plotado nos gráficos. Este número é um inteiro e quanto maior, mais larga são as linhas e os pontos.

A propriedade de Tamanho da Fonte (*Fonte Size*) define o tamanho das fontes usadas na construção dos textos (*labels*) dos eixos.

Os campos Rótulos de X (*X Labels*) e Rótulos de Y (*Y Labels*) definem o número de divisões que cada eixo deve ter, por exemplo, se o campo Rótulos de X valer 5, o eixo X terá 5 divisões com seus respectivos rótulos.

As propriedades Formato de X (*X Format*) e Formato de Y (*Y Format*) possibilitam ao usuário alterar a formatação do texto que será exibido no gráfico. Por exemplo, se o campo Formato de X for igual a 0.000, os valores no eixo X terão 3 casas decimais. Se o Formato de Y for igual a 0,00, os valores em Y terão 2 casas decimais e o separador decimal será virgula ao invés de ponto.

2.3. Hardware

Neste item são mostradas todas as relações entre o hardware e o software. Os parâmetros aqui definidos serão utilizados toda vez que uma aquisição de dados for realizada.

O Tipo de Dispositivo (*Device Type*) é o número do dispositivo que realizará a aquisição de dados. Este número está relacionado com a placa de aquisição de dados utilizada e é um dos parâmetros necessários para a comunicação com a placa. Se mais de uma placa estiver conectada ao

computador, ela será numerada em seqüência como dispositivo 2, 3, etc. e assim sucessivamente.

O parâmetro Taxa de Aquisição (*Scan Rate*) é utilizado também como um parâmetro da placa de aquisição e refere-se a velocidade com que a placa fará a aquisição dos dados. Por exemplo, se o parâmetro “*Scan Rate*” for definido com 10000, tem-se a taxa de leitura da placa de 10000 pontos por segundo.

A Taxa de Amostragem (*Sample Rate*) corresponde ao número de pontos por segundo que a placa realizará a leitura de um canal. Por exemplo, se a Taxa de Amostragem for 1000, tem-se a cada segundo 1000 pontos adquiridos por canal.

O parâmetro *Offset* é utilizado para a calibração de leitura da placa de aquisição. Através deste parâmetro pode-se ajustar o zero para que leitura seja a mais precisa possível. Este parâmetro está relacionado com todos os canais da placa de aquisição.

Através do item Canais Mapeados (*Mapped Channels*) pode-se mapear nomes lógicos em canais físicos do hardware. Para selecionar um canal e ativá-lo, deve-se selecionar um canal no item Canais Mapeados e em seguida clicar em Adicionar (*Add*). Feito isso, aparecerá as iniciais L e G, representando respectivamente Rótulo (*Label*) e Ganho (*Gain*) do canal. O usuário pode alterar ambos os valores simplesmente clicando em cima. No exemplo da Figura 7, o Rótulo é *Power* e o Ganho é 1. Desta forma, em todo o software, quando for necessário referir-se ao canal zero, basta utilizar o rótulo *Power*. No total são 16 canais para mapear Rótulos, entretanto, isso pode variar dependendo da placa de aquisição utilizada. É possível também remover um canal mapeado simplesmente clicando sobre o canal e em seguida pressionando o botão Remover (*Remove*).

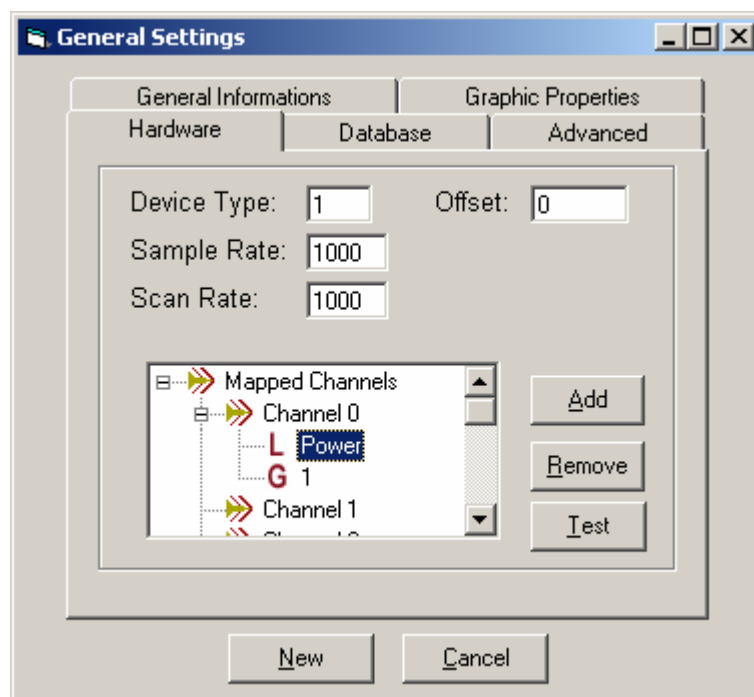


Figura 7 – Janela “Hardware”

2.4. Banco de Dados (*Database*)

O Banco de Dados utilizado para o armazenamento dos ensaios pode ser local ou remoto, entretanto, esses parâmetros devem ser definidos previamente através deste item.

Uma coletânea de ensaios deve ser feita para que cada limiar de queima seja definido, entretanto, a base de dados é sempre a mesma, por isso, a cada novo item deve-se apontar para a mesma base de dados. A Figura 8 mostra a aparência da janela da base de dados.

O parâmetro Caminho da Base de Dados (*Database Link*) indica o caminho lógico da base de dados que pode ou não estar localizado na mesma máquina do software.

O parâmetro Nome de Usuário (*User Name*) e Senha (*Password*) são utilizados para que o software consiga acessar a base de dados, pois normalmente utiliza-se uma senha para garantir a segurança dos dados remotos. Somente o preenchimento correto desses dados permitirá o acesso à base de dados.

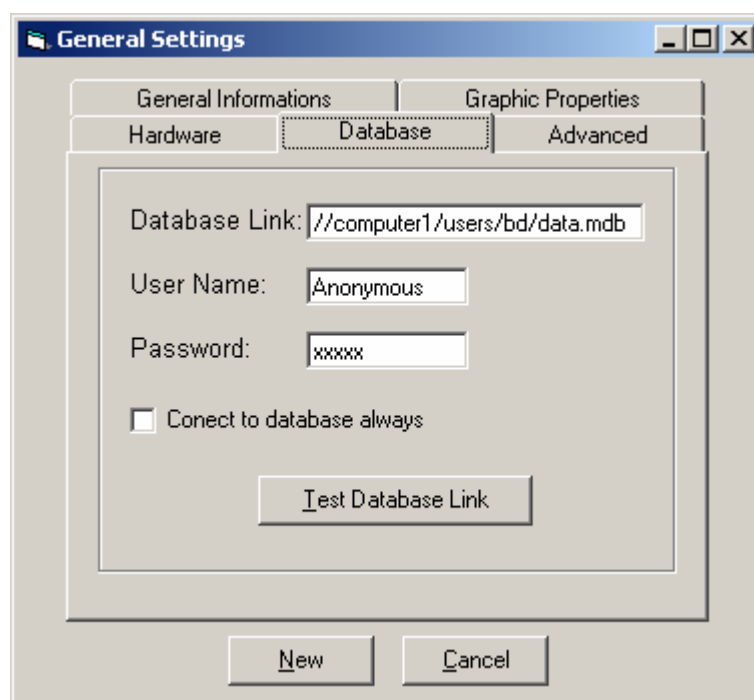


Figura 8 – Janela Base de Dados (*Database*)

A caixa de seleção “*Connect to Database Always*” quando selecionada força o software a tentar localizar a base de dados toda vez que a aplicação é aberta, diminuindo assim o tempo para a conexão com a base de dados remota.

O botão “*Test Database Link*” testa se o caminho, o nome de usuário e senha são válidos. Caso contrário, uma mensagem de erro é apresentada ao usuário.

2.5. Avançado (*Advanced*)

O objetivo deste item é controlar alguns parâmetros específicos de processamento digital de sinais. Até o momento, os algoritmos envolvidos conseguem detectar e configurar estes parâmetros sem a interrupção do usuário, entretanto, pode-se modificar alguns parâmetros do modelo utilizado para otimizar ainda mais os resultados. Acredita-se que como produto final este item

possa ser desconsiderado, haja vista que estes valores referem-se apenas ao programador e não ao usuário propriamente dito.

3. Ferramentas Complementares

As ferramentas complementares auxiliam o usuário no tratamento e condicionamento dos sinais. As ferramentas envolvidas por esta etapa incluem basicamente filtragem, importação e exportação de dados. Nos tópicos seguintes será abordada cada uma das ferramentas.

3.1. Implementação Computacional dos Filtros Digitais

As figuras 9 e 10 mostram a aparência das janelas dos Filtros Passa-Baixa e Passa-Banda implementados no software *Grinding Analyses*.

O parâmetro Canal (*Channel*) é utilizado para escolher em qual canal deseja-se aplicar o filtro em questão. Este parâmetro apresenta uma listagem de todos os canais ativos previamente pelo usuário com seus respectivos nomes.

A Frequência de Ressonância (*Ressonance Frequency*) é o principal parâmetro dos filtros, pois este campo refere-se a frequência de corte. O usuário deve preencher este parâmetro com o valor de frequência que o filtro deve atuar.

A Taxa de Amostragem (*Sample Rate*) não é um parâmetro de entrada, pois o valor apresentado neste campo é o mesmo selecionado pelo usuário no item *Hardware* das Configurações Gerais, por isso, os dados não precisam ser modificados.

O último parâmetro é conhecido como Parâmetro R (*R Parameter*) e consiste no raio do centro do plano Z até o pólo, indicando a inclinação da região de corte do filtro. Maiores informações podem ser obtidas no anexo II.

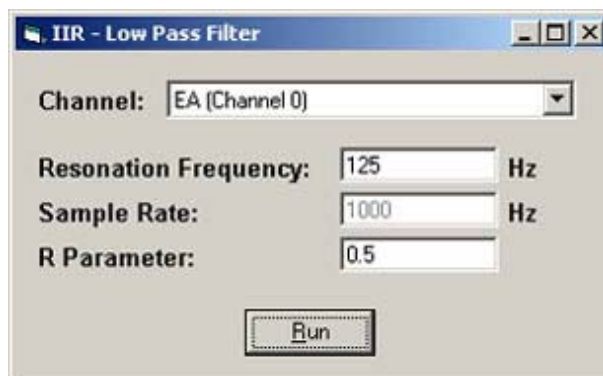


Figura 9 – Filtros Digital IIR Passa Baixa

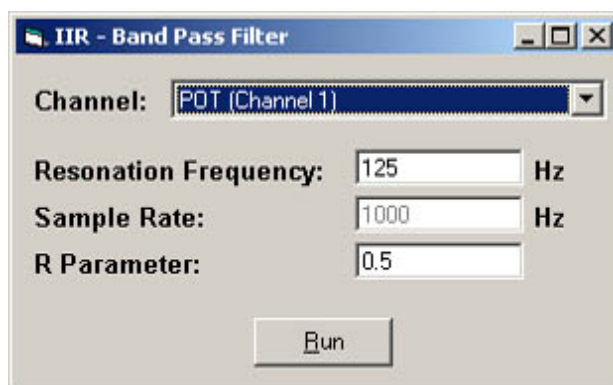


Figura 10 – Filtros Digital IIR Passa Banda

3.2. Importação de Dados

Com esta ferramenta o usuário poderá importar arquivos em formato "txt" (<Nome_arquivo>.txt) gerado por outros softwares, os quais deseje-se trabalhar no *Grinding Analyses*. Quando o usuário seleciona Ferramentas (*Tools*) do menu principal e em seguida "Import Data", a janela representada na Figura 11 aparecerá.

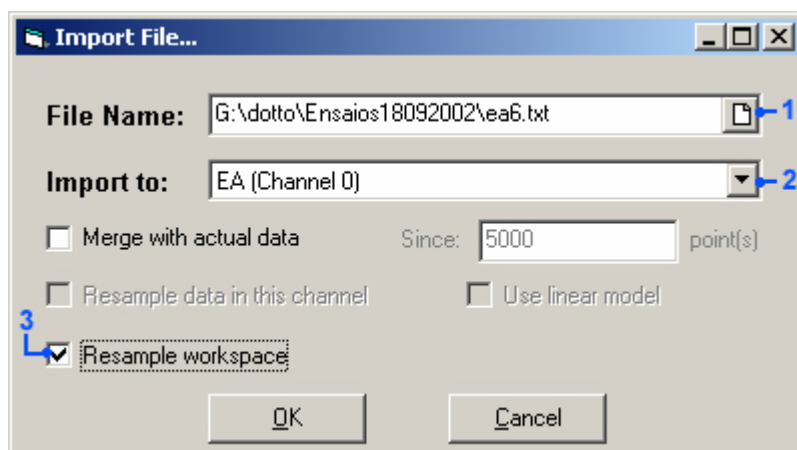


Figura 11 – Janela *Import File* com a opção Reamostragem do *Workspace*

O parâmetro Nome de Arquivo (*File Name*) deve conter o nome do arquivo que será aberto. Caso o usuário não saiba o nome do arquivo ele pode clicar no ícone representado pelo número 1 para abrir uma janela de pesquisa onde ele poderá percorrer as pastas e subpastas a procura do arquivo.

Através do parâmetro Importar Para (*Import to*) o usuário deve escolher o canal ao qual ele deseja armazenar os dados. É importante lembrar que existe um espaço máximo disponível de pontos que podem ser importados e corresponde ao Comprimento de Tempo definido no item Configurações Gerais. Caso o espaço disponível no software seja maior ou menor que o número de pontos que será importado, este espaço denominado espaço de trabalho (*Workspace*) pode ser ajustado para conter todos os pontos, bastando para isso o usuário marcar a caixa indicada pelo número 3 da Figura 11. Desta forma o espaço de trabalho será reajustado para o número de pontos.

Existe uma outra forma de importar dados. A Figura 12 apresenta uma outra janela com outra opção selecionada (indicada pelo número 4). Ao invés de reamostrar o espaço para os dados existe a possibilidade de reamostrar os dados para o espaço de trabalho. Neste caso temos duas situações: quando o número de pontos é maior que o espaço de trabalho e quando o número de pontos é menor que o espaço de trabalho.

Se o número de pontos é maior que o espaço de trabalho, o software executa um algoritmo que faz uma reamostragem dos dados no canal, entretanto, pontos serão perdidos nesse processo.

Caso o número de pontos seja menor que o espaço selecionado, existem duas formas dos dados serem importadas. A primeira delas é simplesmente copiando os dados do arquivo para o canal e as posições vazias são preenchidas por cópias da posição anterior. Este método foi chamado de *holding*.

O segundo caso é utilizando a opção de linearização (opção indicada pelo número 5 selecionado da Figura 12). Este método faz uma linearização dos pontos vazios, preenchendo com um valor intermediário. Os pontos importados são espalhados no canal (espaço de trabalho) e depois os pontos vazios linearizados.

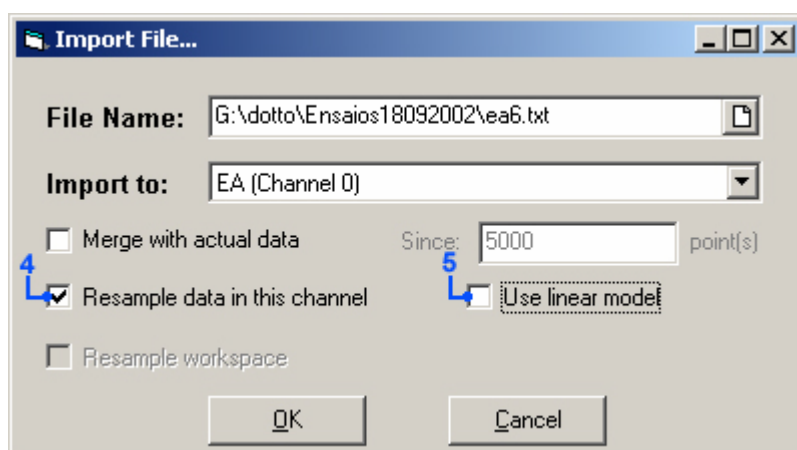


Figura 12 – Janela *Import File* com a opção de Reamostragem de Dados

A Figura 13 apresenta um outro recurso que também pode ser usado durante a importação dos dados. Este recurso consiste na mistura dos dados atuais com os dados que serão importados (indicado pelo número 6 da Figura 13). Esta importação é classificada como não destrutiva, pois somente uma região do espaço de trabalho será substituída pelos pontos que serão importados. Como alternativa esta opção permite que usuário defina a partir de qual ponto os dados deverão ser copiados, simplesmente introduzindo no campo indicado pelo número 7 a posição inicial da cópia.

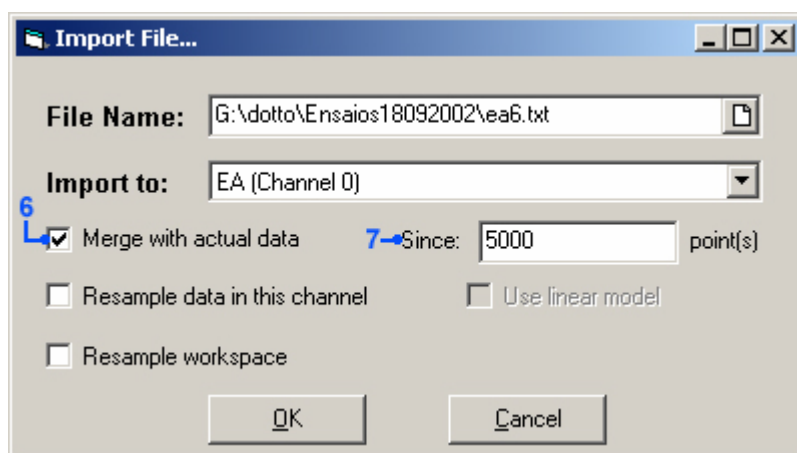


Figura 13 – Janela *Import File* com a opção de Fusão de Dados selecionada

3.3. Exportação de Dados

A exportação de Dados é realizada utilizando também ASCII como padrão, entretanto, o número de opções é bem menor que a importação de dados.

Os dados exportados pelo software podem ser lidos por vários programas, incluindo o MatLab, Excel, etc. Os dados exportados são sempre referentes a um determinado canal, por isso, caso o usuário queira exportar mais de um canal, ele terá que exportar um de cada vez. A escolha pela exportação de dados de canais individuais se deve ao fato de que quando mais de um canal está agregado ao mesmo arquivo, alguns tipos de programas podem não entender o separador de canais utilizado e, portanto, não abrir o arquivo correspondente. O arquivo exportado é formado por linhas, sendo que cada uma delas contém a amplitude de cada ponto que está sendo exportado, portanto, o total de linhas exportadas refere-se ao total de pontos exportados.

Para exportar os dados o usuário deve selecionar no menu da janela principal a opção ferramentas (*Tools*), e em seguida clicar em Exportar Arquivo (*Export File*).

A Figura 14 apresenta a aparência da janela de exportação de dados.

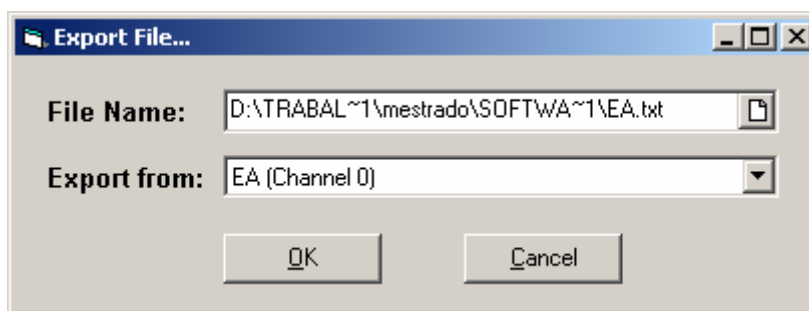


Figura 14 – Janela *Export File*

O parâmetro Nome do Arquivo (*File Name*) refere-se ao nome do arquivo de destino ao qual serão exportados os dados. O ícone ao lado deste parâmetro permite que o usuário pesquise em diretórios ou subdiretórios arquivos que deseja substituir pelos dados atuais.

Através do parâmetro Exportar De (*Export from*) o usuário pode escolher o canal que deseja exportar para o arquivo.

4. Processamento Off-Line

O Processamento Off-Line consiste de todas as ferramentas agregadas para o cálculo de parâmetros de queima off-line. Estes parâmetros não precisam ser necessariamente apenas os conhecidos pela comunidade científica: DPO e FKS, pois outros também podem ser desenvolvidos. Além do Processamento Off-Line, foi desenvolvida uma ferramenta chamada Editor de Gráficos (*Edit Graphic*) que auxilia na descoberta de novos parâmetros de Queima. Esta ferramenta possibilita a extração de informações dos gráficos que levariam um tempo considerável se fossem implementadas no MatLab, por exemplo. Isto é porque as informações necessitam ser processada em intervalos de tempo distintos, com números de pontos variáveis ou até mesmo pelo fato de que alterações podem tornar-se constantes a cada novo ensaio realizado. O Editor de Gráficos é capaz de calcular em segundos diversos tipos de informações de um determinado canal: desvio padrão, média, FFT, variância, máximo, mínimo, etc.

Será abordada inicialmente a ferramenta “Editor de Gráficos” e em seguida o processamento dos parâmetros de queima Off-Line.

4.1. Editor de Gráficos (*Edit Graphics*)

Conforme citado anteriormente, esta ferramenta foi desenvolvida para auxiliar no desenvolvimento de novos parâmetros de queima. Para entrar nesta ferramenta basta clicar sobre o item *Edit* do menu da janela principal e em seguida clicar sobre “*Edit Graphics*”.

A Figura 15 apresenta a janela *View Channel* que será mostrada ao usuário.

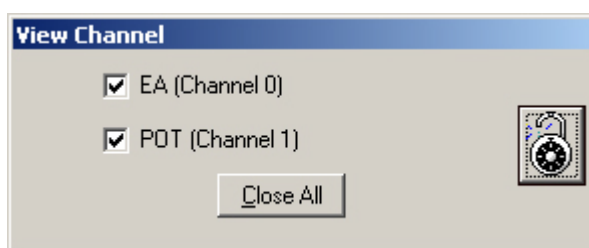


Figura 15 – Janela *View Channel*

A janela *View Channel* listará todos os canais disponíveis no software desenvolvido para a posterior edição. Neste caso têm-se apenas dois canais: EA (*Channel 0*) e POT (*Channel 1*). Se a caixa de seleção que está na frente do nome do canal for marcada, aparecerá uma janela chamada *Análise de Onda (Wave Analyses)* correspondente ao canal selecionado. Se esta caixa for desmarcada esta outra janela também será excluída da área de trabalho.

A Figura 16 mostra a disposição de todas as janelas abertas para a situação da Figura 15, ou seja, EA e POT selecionados.

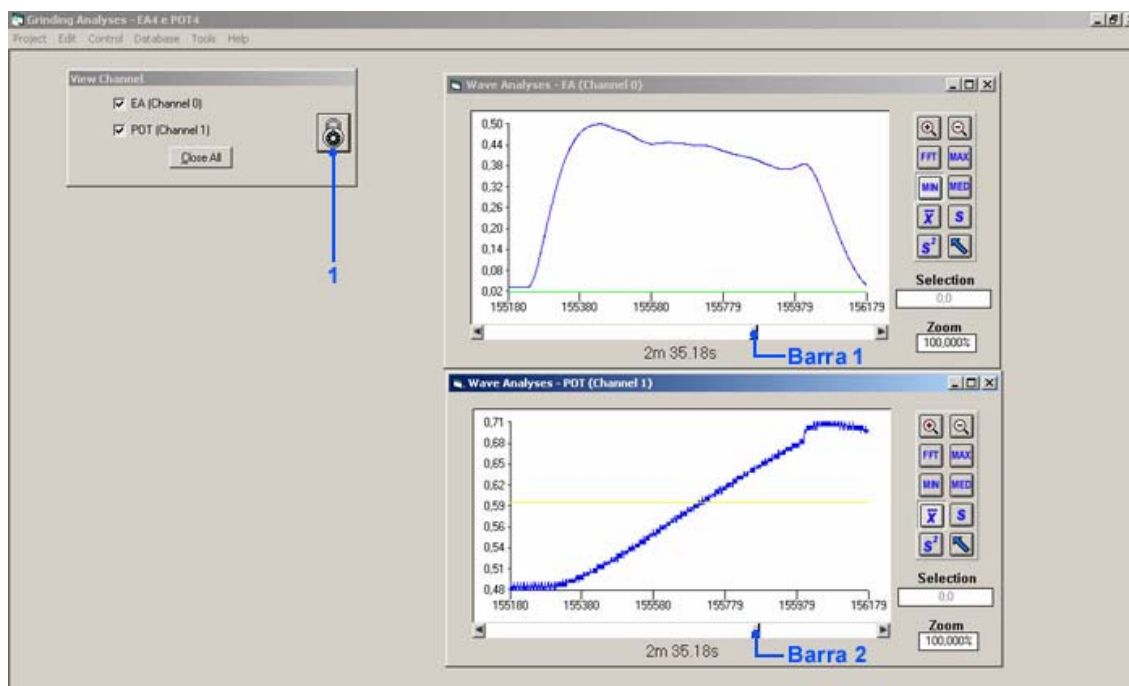


Figura 16 – Ambiente de Trabalho na Edição de Gráficos

Pode-se notar na Figura 16 que existem 3 janelas abertas: *View Channel*, *Wave Analyses* associado a EA e *Wave Analyses* associado a POT. Nota-se que existem dois gráficos plotados na tela. Estes gráficos mostram o conteúdo armazenado em disco do Canal 0 (EA – Emissão Acústica) e Canal 1 (POT – Potência). Através das barras 1,2 (figura 16) é possível percorrer todos os pontos dos gráficos.

O cadeado representado pelo número 1 na Figura 16 tem a finalidade de sincronizar todos os gráficos na tela, ou seja, quando ativado ele propaga os movimentos da barra 1 na barra 2. Desta forma se o usuário mover para uma determinada posição o gráfico da Emissão Acústica (EA), este movimento será propagado para a potência (POT) também e o desenho mostrado nas duas janelas corresponderão ao mesmo intervalo de tempo. Assim, é possível observar o mesmo intervalo de tempo nas duas janelas simultaneamente.

Agora, detalhar-se-ão a janela *Wave Analyses* associada à emissão acústica para visualizarem-se as funções agregadas a esta janela. A Figura 17 mostra a aparência da janela *Wave Analyses*.

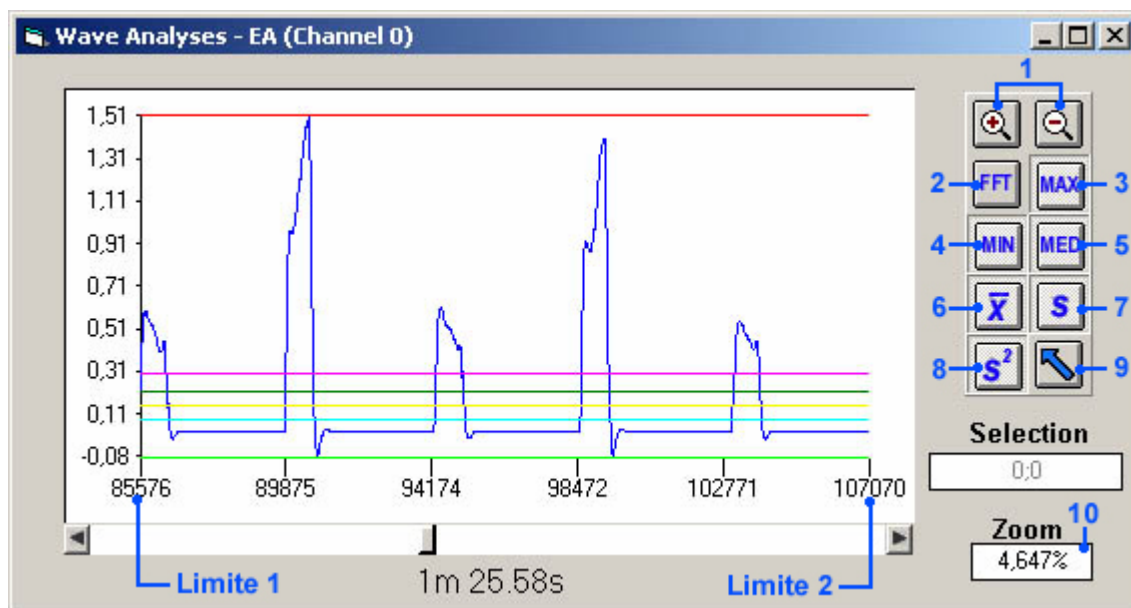


Figura 17 – Aparência da Janela *Wave Analyses* associada à Emissão Acústica

A janela *Wave Analyses* é o coração da ferramenta de análise, pois esta janela incorpora as principais funções para o cálculo de parâmetros. Pode-se notar na barra de ferramentas desta janela uma serie de funções extremamente úteis na construção de novos parâmetros.

Abaixo segue a listagem descritiva das funções agregada à janela *Wave Analyses*, conforme o índice marcado em azul.

1. **ZOOM:** É possível através desta ferramenta aumentar ou diminuir o zoom da janela gráfica.
2. **FFT:** Permite o cálculo da transformada rápida de Fourier. Quando este botão é pressionado uma nova janela se abre solicitando informações para o cálculo da FFT.
3. **MAX:** Calcula o valor máximo entre os pontos delimitados pelo Limite 1 e Limite 2. O resultado é mostrado através de uma janela e também por meio gráfico pela inclusão de uma linha horizontal sobreposta ao gráfico.
4. **MIN:** Calcula o valor mínimo entre os pontos delimitados pelo Limite 1 e Limite 2. O resultado é mostrado através de uma

janela e também por meio gráfico pela inclusão de uma linha horizontal sobreposta ao gráfico.

5. **MED:** Calcula o valor médio entre os pontos delimitados pelo Limite 1 e Limite 2. O resultado é mostrado através de uma janela e também por meio gráfico pela inclusão de uma linha horizontal sobreposta ao gráfico.
6. **MÉDIA:** Calcula a média dos valores entre os pontos delimitados pelo Limite 1 e Limite 2. O resultado é mostrado através de uma janela e também por meio gráfico pela inclusão de uma linha horizontal sobreposta ao gráfico.
7. **DESVIO PADRÃO:** Calcula o desvio padrão entre os pontos delimitados pelo Limite 1 e Limite 2. O resultado é mostrado através de uma janela e também por meio gráfico pela inclusão de uma linha horizontal sobreposta ao gráfico.
8. **VARIÂNCIA:** Calcula a variância entre os pontos delimitados pelo Limite 1 e Limite 2. O resultado é mostrado através de uma janela e também por meio gráfico pela inclusão de uma linha horizontal sobreposta ao gráfico.
9. **SELEÇÃO:** Ferramenta auxiliar utilizada na seleção de uma região do gráfico. Usada em conjunto com as ferramentas de ZOOM.

Todas estas ferramentas são instantâneas e oferecem o cálculo imediato sem qualquer informação adicional. O número indicativo 10 mostra a situação atual do Zoom e pode variar. Quanto maior o valor deste parâmetro maior é o Zoom, sendo que o valor máximo é 100%, ou seja, um ponto do gráfico para cada ponto do canal.

É importante salientar que a barra de ferramentas da janela *Wave Analyses* permite sempre o cálculo entre os limites 1 e 2, entretanto, existe uma outra maneira de calcular os mesmos parâmetros definindo manualmente o limite superior e inferior. Para isso, basta clicar com o botão direito do mouse sobre a barra de ferramentas que o menu mostrado na Figura 18 aparecerá.

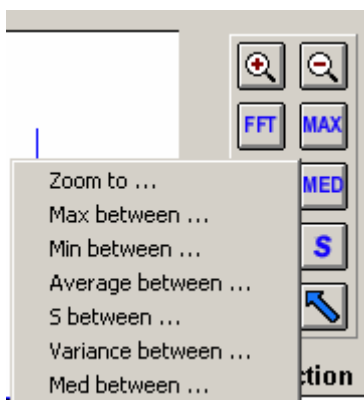


Figura 18 – Menu *Pop Up* da Janela *Wave Analyses*

Nota-se que todas as funções deste menu são as mesmas da barra de ferramentas. Clicando em um destes itens aparecerá uma caixa de texto que deverá ser preenchida com as coordenadas para o cálculo do parâmetro. Na Figura 19 pode-se notar o campo que aparece na barra de ferramentas para que o usuário digite os limites desejados, sendo o limite inferior 100 e o superior 1000 (o parâmetro será calculado para este limite). Em seguida um *enter* deve ser dado para que o cálculo seja feito.

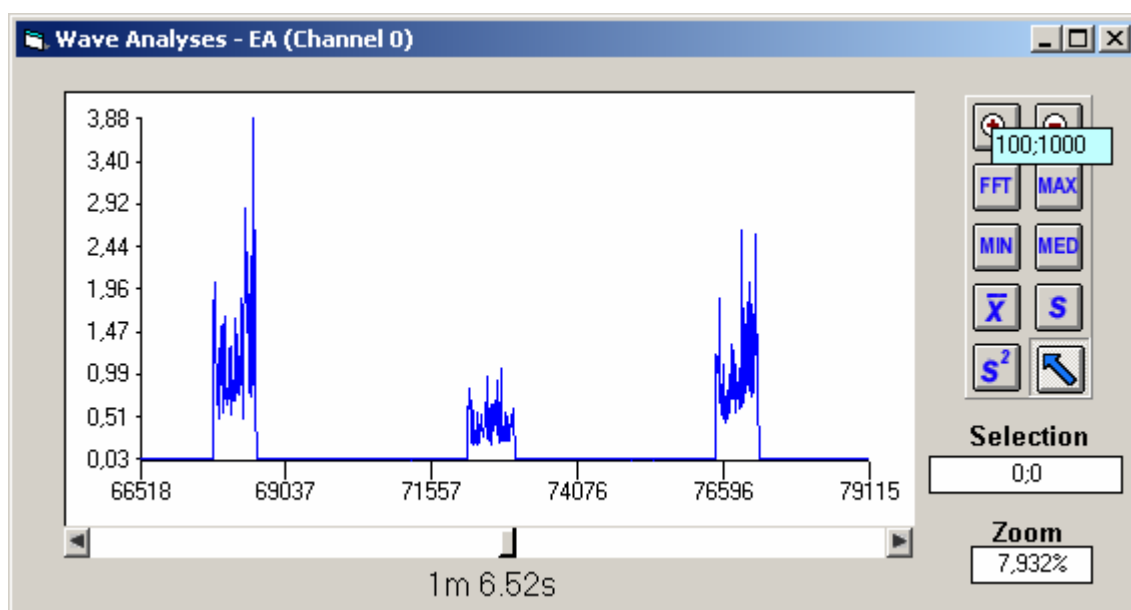


Figura 19 – Janela *Wave Analyses* com limites definidos pelo usuário

4.2. Processamento dos Parâmetros de Queima Off-Line

O Processamento Off-Line propriamente dito pode ser acessado através do menu da janela principal clicando sobre “Control” e então “Calculate Off-Line Parameters”. A janela mostrada na Figura 20 aparecerá.

É importante salientar que o Processamento Off-Line processa toda informação contida nos canais, entretanto, esta informação deve ter sido carregada mediante a importação dos dados ou através da aquisição dos dados no Processamento On-Line que será discutida mais a frente.

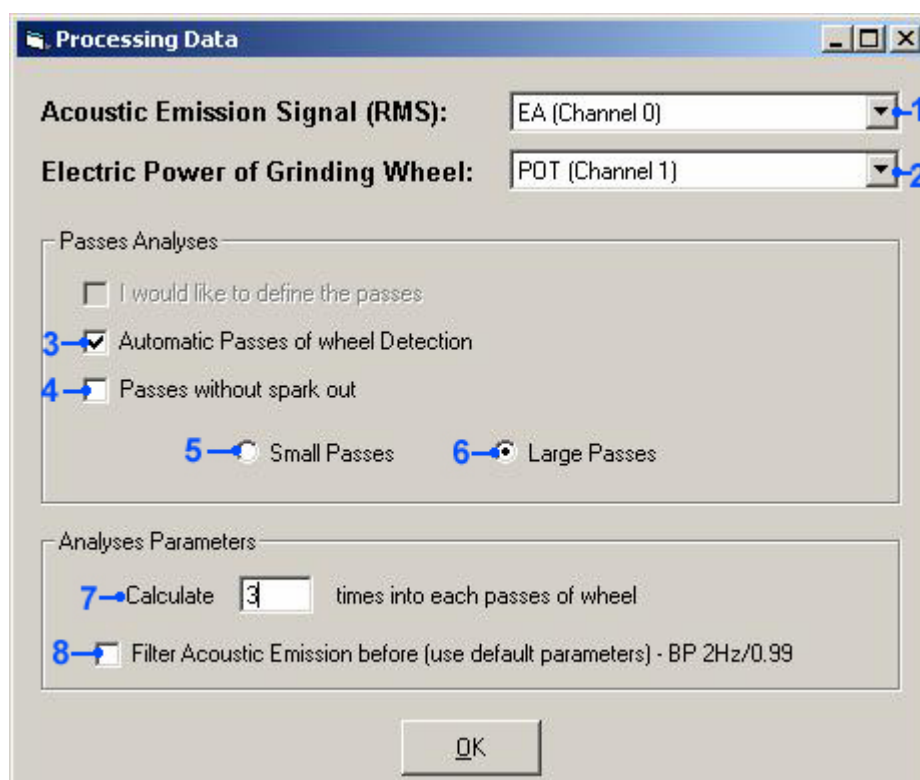


Figura 20 – Janela *Processing Data* com detecção automática de passadas

Para o Processamento dos Dados algumas informações devem ser configuradas para o posterior processamento. A janela *Processando Dados (Processing Data)*, mostrada na Figura 20 contém uma série de parâmetros que devem ser preenchidos pelo usuário conforme a sua necessidade. Será detalhado a

seguir cada um destes parâmetros mostrando as diversas formas que o processamento pode ocorrer.

Os campos indicados pelos números 1 e 2 referem-se as variáveis de entrada necessárias para o cálculo dos parâmetros. Em todos os parâmetros desenvolvidos e implementados, as variáveis de entrada são a Emissão Acústica RMS e a Potência Elétrica do Motor que gira o rebolo da máquina retificadora. O usuário pode escolher entre os canais ativos e selecionar um canal para a Emissão Acústica (número 1) e outro para a Potência Elétrica (número 2). Mais uma vez é importante lembrar que estes canais para estarem ativos devem ter sido configurados no item *Hardware* de Configurações Gerais.

Quando a caixa de seleção indicada pelo número 3 estiver marcada, as passadas do rebolo serão detectadas automaticamente pelo software sem a interferência do usuário. Este processamento que detecta automaticamente as passadas foi totalmente desenvolvido para automatizar o processo ao máximo.

Toda vez que a mesa avança em direção ao rebolo, ela em seguida deve retornar. Este retorno da mesa sem o avanço do rebolo é conhecido pelo nome de *spark out*. O software é capaz de detectar automaticamente o *spark out* e, caso seja de interesse do usuário, o software é capaz de descartá-lo automaticamente durante o processamento dos parâmetros de queima. Para isso basta marcar a caixa de seleção indicada pelo número 4 na Figura 20.

Os números 5 e 6 da Figura 20 mostram um outro recurso potente do software desenvolvido que é a detecção automática de passadas selecionando a menor passada possível (*Small Passes*) ou a passada completa (*Large Passes*).

O que acontece normalmente é que o tamanho de uma passada no sinal de Emissão Acústica pode ser diferente do tamanho de uma passada no sinal de Potência, por isso, existem duas formas de detectar as passadas. O que ocorre é que o sinal de Potência fica atrasado em relação a Emissão Acústica e demora mais tempo para retornar ao valor inicial, então, normalmente uma passada no sinal de Potência é maior que a mesma passada do sinal de Emissão Acústica. Quando a opção *Small Passes* está ativa, o software seleciona as

passadas do sinal de Emissão Acústica e da Potência como sendo as menores possíveis, por isso, o número de pontos selecionados em cada um dos sinais é diferente. Quando a opção *Large Passes* está ativa, o software é forçado a retirar passadas iguais em ambos os sinais, independente se existe ou não sinal em um determinado período, por exemplo, como a Potência sofre um atraso em relação a Emissão Acústica, a Emissão Acústica vale aproximadamente 0 durante o período em que o sinal de Potência decresce, entretanto, mesmo valendo aproximadamente 0, o sinal de Emissão Acústica é considerado para que as passadas tenham o mesmo número de pontos.

Um outro recurso que foi desenvolvido é a possibilidade de subdividir uma passada em diversas partes para efetuar os cálculos de um determinado parâmetro em cada uma destas partes. Para ativar este recurso, basta mudar o valor presente na caixa de texto indicada pelo número 7 da Figura 20. É importante salientar que para esta função trabalhar corretamente é necessário que as passadas tenham o mesmo número de pontos, ou seja, seja definida com *Large Passes*.

A caixa de seleção indicada pelo número 8 da Figura 20 permite que um filtro passa-banda com frequência de corte de 2Hz e o parâmetro r igual a 0,99 seja passado no sinal de emissão acústica antes do processamento do sinal. Durante diversas análises pudemos concluir que esta frequência e este parâmetro r oferecem os melhores resultados durante a filtragem dos sinais de Emissão Acústica (RMS).

O usuário também pode optar pela detecção manual das passadas, conforme pode ser visto na Figura 21.

O número 9 indicado na Figura 21 mostra a caixa de seleção que possibilita que o usuário ative o recurso de detecção manual de passadas. Este recurso pode ser utilizado pelo usuário que deseja selecionar uma região específica para o cálculo do parâmetro de queima. Nos próximos tópicos abordar-se-á este assunto detalhadamente.

Ao pressionar OK na janela mostrada na Figura 20 ou 21 aparecerá uma outra janela denominada Processamento de Sinal (*Signal Processing*). A Figura 22 apresenta a aparência desta janela.

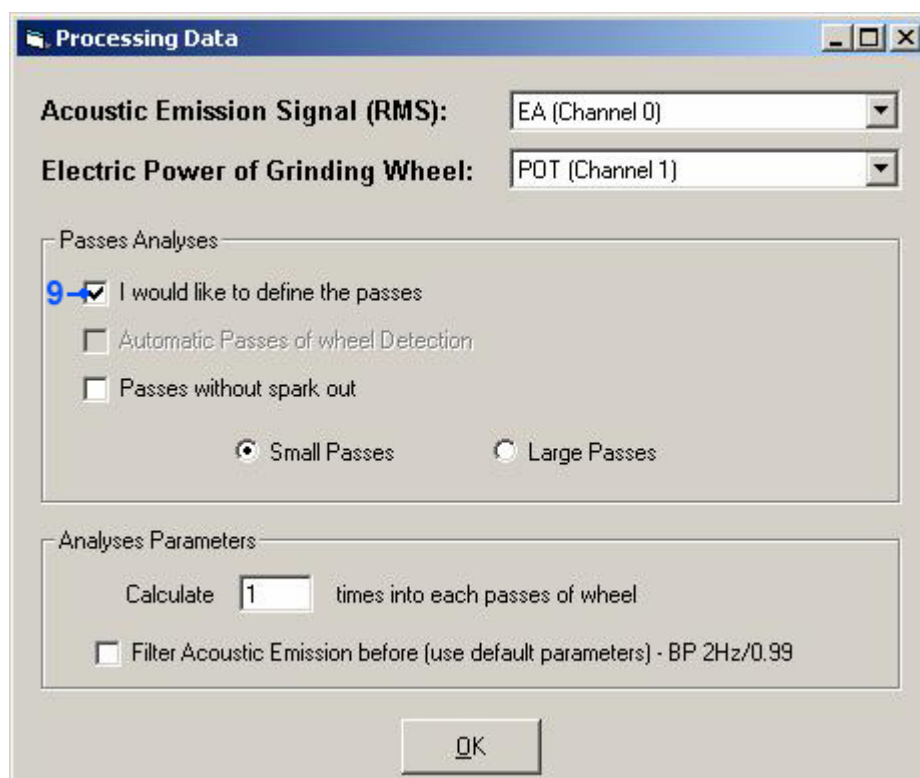


Figura 21 – Janela *Processing Data* com detecção manual de passadas

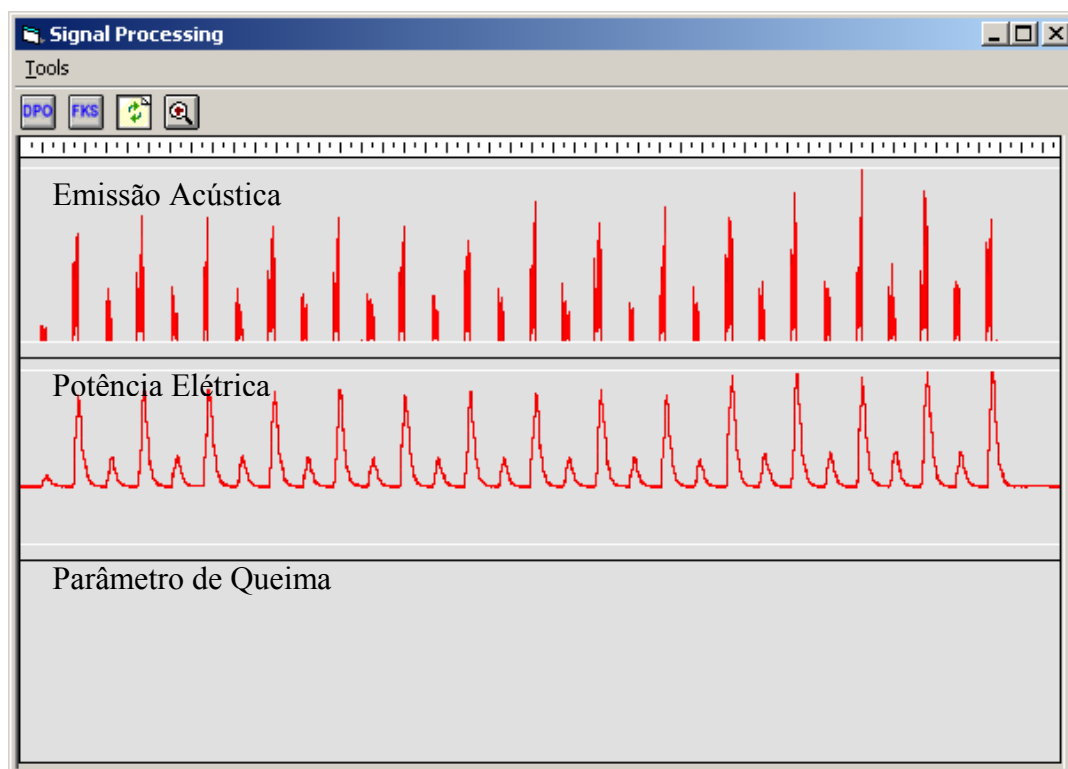


Figura 22 – Janela *Signal Processing*

A principal função da janela Processamento de Sinal é o cálculo dos parâmetros de queima utilizando a configuração estabelecida pela janela Processando Dados (*Processing Data*). É importante perceber-se que esta janela possui três trilhas gráficas onde duas delas são destinadas aos canais escolhidos para o sinal de Emissão Acústica e Potência Elétrica. A terceira trilha é uma região que plotará os resultados dos parâmetros de queima.

Através desta janela pode-se notar também que ambos os gráficos estão em seqüência o que permite verificar-se o que ocorre com cada sinal no mesmo instante de tempo.

Na Figura 23 pode-se observar com maiores detalhes a barra de ferramentas e o menu principal desta janela.

Os números 1,2 da Figura 23 são botões que permitem o cálculo imediato dos parâmetros FKS e DPO. O número 3 mostra o botão de Atualização, ou seja, através deste botão os gráficos da Emissão Acústica e Potência são plotados novamente. O botão indicado pelo número 4 é uma ferramenta de zoom

que pode ser usada para analisar os gráficos. O menu *Tools* representado pelo número 5 fornece ferramentas para a extração de passadas e cálculo de parâmetros de queima.

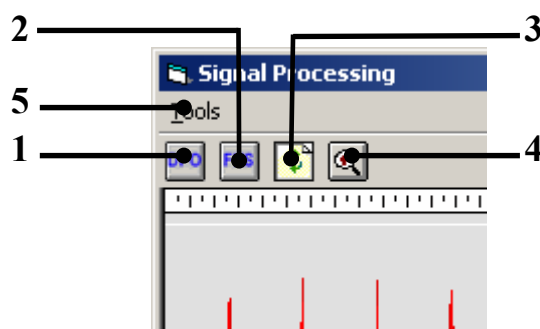


Figura 23 – Menu da janela *Signal Processing*

O menu *Tools* representado pelo número 5 da Figura 23 será discutido a seguir. A Figura 24 mostra as opções deste menu.

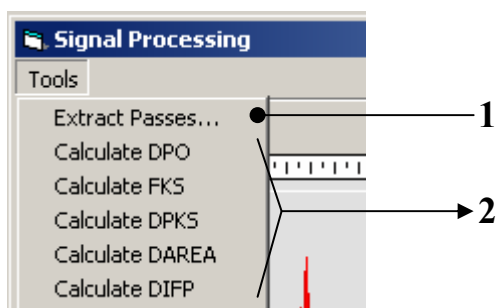


Figura 24 – Menu Ferramentas (*Tools*) da janela *Signal Processing*

Antes do cálculo dos parâmetros de queima precisa-se detectar as passadas e extraí-las, para isso, deve-se utilizar a função Extrair Passadas (*Extract Passes*) indicada pelo número 1 da Figura 24. Ao clicar sobre esta opção o software iniciará o processo de extração de passadas. Caso o usuário tenha selecionado anteriormente a detecção automática de passadas, o software cuidará de tudo sozinho, sem a interferência do usuário, entretanto, se o usuário selecionou detecção manual de passadas, uma nova janela irá se abrir e o usuário

com a ajuda do *mouse* terá que selecionar as passadas manualmente. A detecção automática e manual de passadas será detalhada nos próximos tópicos.

Nota-se que outros parâmetros além do DPO e do FKS existem no menu, pois se percebe que devido a facilidade do software outros parâmetros de queima podem ser propostos. Até o momento já foram propostos 3 novos parâmetros que foram detalhados no capítulo “material e métodos”.

Após a extração de passadas, o cálculo dos parâmetros pode ser feito. A Figura 25 mostra a extração de passadas realizada e o cálculo do novo parâmetro DPKS.

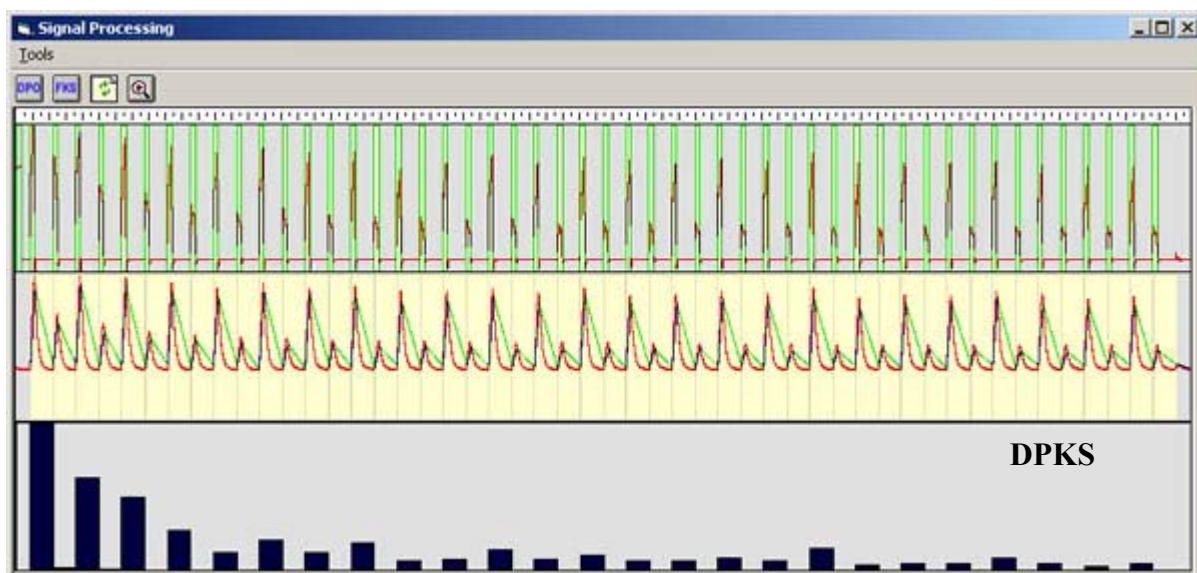


Figura 25 – Processamento do Sinal e cálculo do parâmetro DPKS

É importante notar-se que a queima ocorreu na primeira passada para esse ensaio realizado, pois essa foi uma queima provocada propositalmente para testar o parâmetro. O *spark out* não foi retirado porque esta opção não foi selecionada anteriormente e o tipo de passada escolhido foi o *Small Passes*. No sinal de Emissão Acústica as linhas de cor verde delimitam as passadas enquanto que no sinal de Potência os retângulos de cor amarela são os delimitadores das passadas. Um outro fato importante é que as passadas são diferentes (tamanhos diferentes) nos sinais de Emissão Acústica e Potência.

No próximo exemplo utilizaram-se passadas completas (*Large Passes*), com a opção para exclusão de *sparkout* selecionada e como parâmetro de queima o DPO. A Figura 26 mostra este exemplo. É possível notar-se que as passadas são delimitadas tanto no sinal Emissão Acústica quanto no sinal de Potência por retângulos de cor amarela.

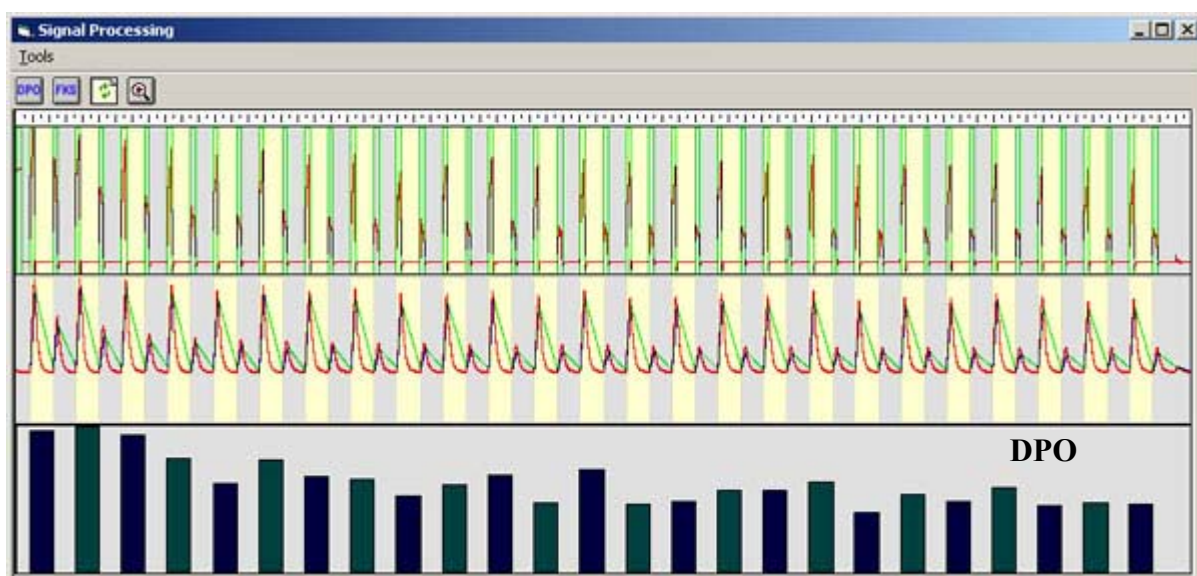


Figura 26 – Processamento do Sinal e cálculo do parâmetro DPO sem *spark out* e com passadas largas (*Large Passes*)

Para finalizar mostrou-se um outro exemplo onde foram escolhidas passadas completas (*Large Passes*), com *spark out*, entretanto, com as passadas divididas em 3 intervalos para o cálculo do parâmetro DPO. Este último exemplo pode ser visto na Figura 27.

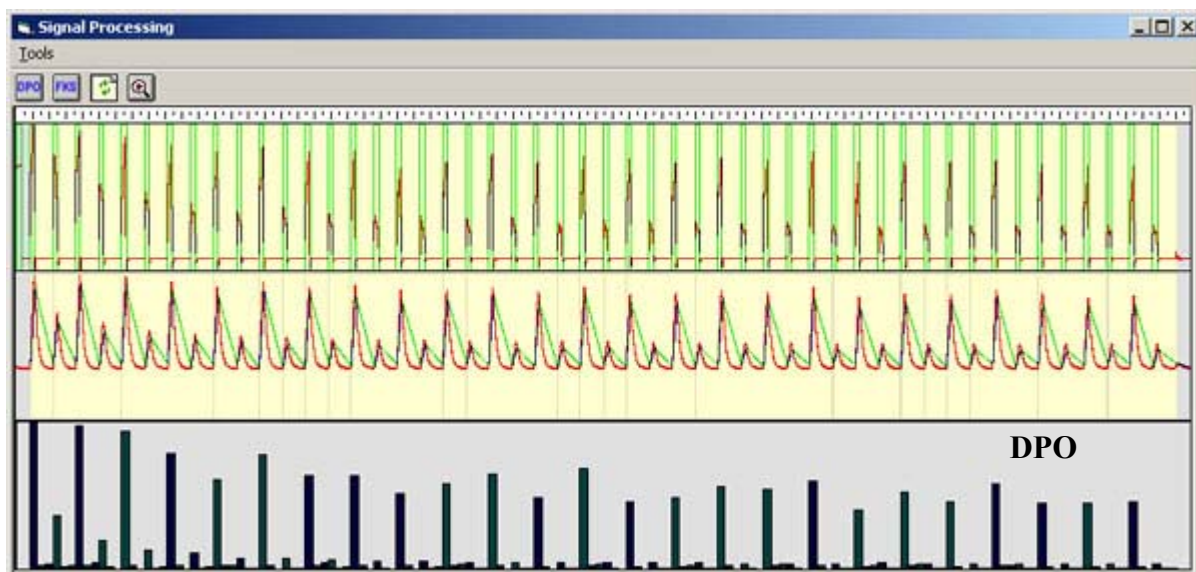


Figura 27 – Processamento do Sinal e cálculo do parâmetro DPO, com *spark out*, passadas largas (*Large Passes*) e divididas em 3 intervalos.

O recurso de Zoom mostrado pelo número 4 da barra de ferramentas da Figura 23 possibilita a visualização de uma janela deslizante que permite ampliar os sinais plotados. A Figura 28 mostra esta ferramenta em uso. Note que o número 1 indicado na Figura 28 mostra a janela que desliza com a passagem do mouse sobre os gráficos.

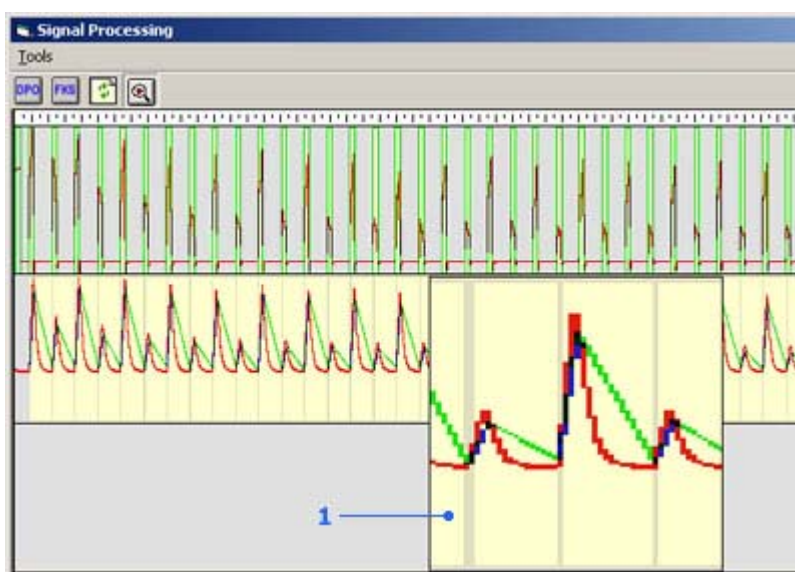


Figura 28 – Ferramenta de Zoom na janela de Processamento de Sinal.

4.3. Detecção Automática de Passadas

A detecção automática de passadas consiste de um algoritmo capaz de extrair todas as informações necessárias dos sinais de Potência Elétrica e Emissão Acústica para definir regiões onde as passadas do rebolo se iniciam e terminam. A lógica destes algoritmos foi detalhada no capítulo “material e métodos”.

A detecção automática de passadas do rebolo é utilizada pelo software toda vez que o usuário desejar. Tanto no Processamento On-Line quanto no Processamento Off-Line as passadas podem ser extraídas automaticamente pelo software. Maiores informações podem ser obtidas nos tópicos que tratam destes dois temas.

4.4. Detecção Manual de Passadas do Rebolo

O sistema de detecção manual de passadas foi criado para permitir que o usuário possa extrair passadas manualmente. Pode parecer contraditório permitir que o usuário tenha tal tipo de interação com o software, haja vista que a extração automática de passadas consegue extrair passadas com muito mais precisão e coerência que o usuário, entretanto, o usuário pode desejar realizar diversas análises e, por isso, torna-se necessário algumas vezes que a extração manual seja feita. Normalmente quando um parâmetro é proposto, diversos testes são realizados para comprovar a sua eficácia e assim, a extração de passadas manual permite uma análise específica de uma determinada região do canal. Neste caso, a detecção automática de passadas não oferece diversidade nos testes que são realizados.

A extração manual de passadas ocorre quando a opção extrair passadas é selecionada no menu da janela Processamento de Sinal (*Signal Processing*). Ao invés do software extrair as passadas automaticamente, uma outra janela é aberta paralelamente a janela Processamento de Sinal. Esta nova janela é denominada Seleção Manual de Passadas (*Manual Passes Selection*). A Figura 29 mostra as duas janelas abertas paralelamente.

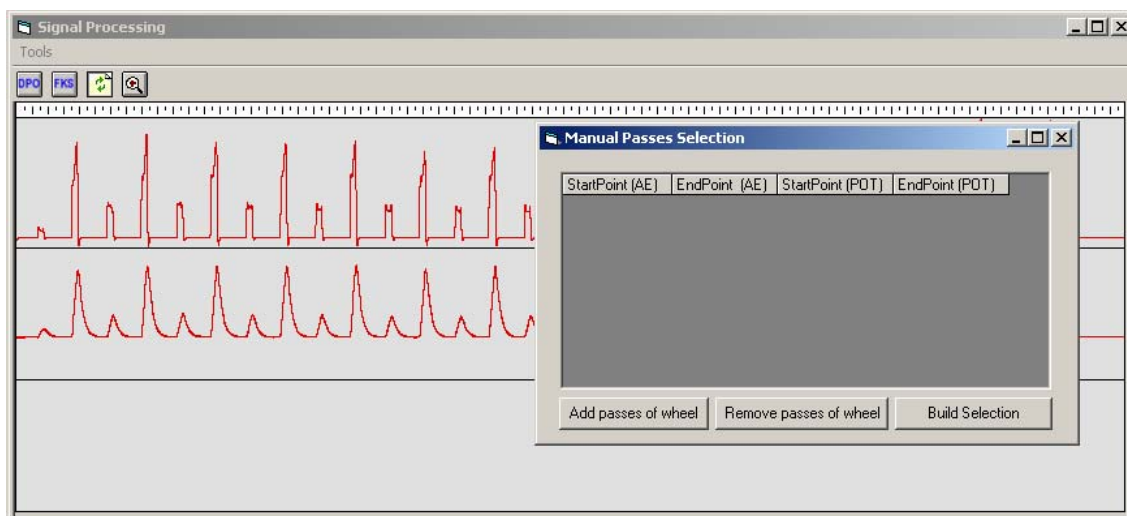


Figura 29 – Aparência das janelas durante a extração manual de passadas

Durante a extração de passadas o usuário deve informar ao software quais as passadas que ele deseja extrair. Para isso, o usuário deve criar as novas passadas utilizando a janela Seleção Manual de Passadas. A Figura 30 mostra a aparência da janela Seleção Manual de Passadas.

Cada linha desta janela corresponde a uma passada criada pelo usuário. Para incluir linhas na tabela de passadas o usuário deve pressionar o botão indicado pelo número 5 na Figura 30. Quando uma linha é criada na tabela, ela tem 4 campos que definem a passada: Ponto Inicial da Passada no Sinal de Emissão Acústica (*StartPoint (AE)*) responsável pelo início da passada no sinal de Emissão Acústica e representado pelo número 1 da Figura 30; Ponto Final da Passada no Sinal de Emissão Acústica (*EndPoint (AE)*) responsável pelo final da passada no sinal de Emissão Acústica e representado pelo número 2 da Figura 30; Ponto Inicial da Passada no Sinal de Potência Elétrica (*StartPoint (POT)*) responsável pelo início da passada no sinal de Potência Elétrica e representado pelo número 3 da Figura 30; Ponto Final da Passada no Sinal de Potência Elétrica (*EndPoint (POT)*) responsável pelo final da passada no sinal de Potência Elétrica e representado pelo número 4 da Figura 30.

Através destes 4 campos uma passada é definida e, portanto, um determinado parâmetro de queima pode ser calculado. Pode-se notar que as

passadas extraídas do sinal de Emissão Acústica podem ter tamanhos diferentes das passadas extraídas do sinal de Potência Elétrica, pois, existem campos separados para indicar o limite inferior e superior das passadas.

Os dois parâmetros que definem se uma passada deve ou não ter o mesmo tamanho em ambos os sinais: Emissão Acústica e Potência Elétrica são *Large Passes* e *Small Passes* da janela Processando Dados (*Processing Data*). Quando a opção *Small Passes* está selecionada, as passadas podem ter tamanhos diferentes enquanto que se a opção *Large Passes* estiver selecionada as passadas obrigatoriamente deverão ter o mesmo tamanho.

Após a linha ter sido criada na janela Seleção Manual de Passadas, o usuário deve definir as passadas no gráfico. Para isso, basta clicar sobre o gráfico da janela Processamento de Sinal (*Signal Processing*) que os campos serão preenchidos automaticamente com os valores dos pontos correspondentes ao início e fim da passada em questão. Quando a opção *Large Passes* está selecionado, basta o usuário marcar a passada no gráfico da Emissão Acústica que os valores se propagam automaticamente para os demais campos da Potência Elétrica, pois as passadas devem ter o mesmo comprimento. Quando a opção *Small Passes* está selecionada, o usuário precisa obrigatoriamente selecionar a passada no sinal de Emissão Acústica e Potência Elétrica, pois qualquer tamanho de passada para ambos os sinais pode ser admitido.

O número 6 indicado na Figura 30 permite que as passadas criadas na janela Seleção Manual de Passadas sejam excluídas, bastando para isso que o usuário clique sobre a linha que deseja apagar e em seguida clicar sobre o botão Remover Passadas do Rebolo (*Remove Passes of Wheel*).

Quando o usuário criou todas as passadas desejadas, o botão indicado pelo número 7 da Figura 30 deve ser pressionado. Através deste botão, as passadas serão marcadas na janela *Processing Signal* e a janela Seleção Manual de Passadas será fechada. Em seguida qualquer parâmetro de queima pode ser calculado.

É importante salientar que todas as passadas criadas são armazenadas em disco automaticamente e, portanto, toda vez que a opção

extração manual de passadas for selecionada as informações armazenadas previamente são lidas e as passadas novamente construídas. Com isso, as passadas extraídas não precisam ser selecionadas novamente, exceto quando alguma alteração se fizer necessária.

A Figura 31 mostra três passadas selecionadas pelo usuário (I, II e III). A primeira linha indica a primeira passada através das setas de cor azul, a segunda linha indica a segunda passada (setas de cor verde) e a terceira linha indica a terceira passada (setas de cor vermelha). Neste exemplo pode-se notar que uma mesma passada tem tamanhos diferentes nos sinais de Emissão Acústica e Potência Elétrica o que caracteriza a opção *Small Passes* selecionada.

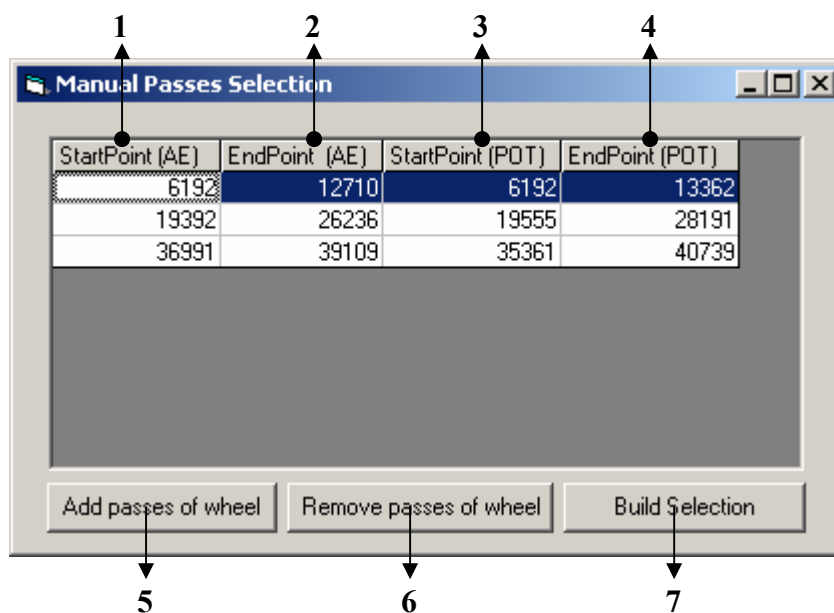


Figura 30 – Aparência da janela Seleção Manual de Passadas (*Manual Passes Selection*)

Um outro ponto importante que deve ser lembrado é o fato de que o botão indicado pelo número 5 da Figura 30 está também atribuído ao botão direito do mouse, com isso, basta o usuário clicar com o botão direito do mouse sobre o gráfico que uma nova linha é incluída automaticamente na janela Seleção Manual de Passadas. Desta forma, o tempo para a seleção das passadas diminui,

pois o usuário não precisa a cada nova passada ir até a janela Seleção Manual de Passadas e clicar sobre o botão Adicionar Passadas do Rebolo (*Add passes of Wheel*).

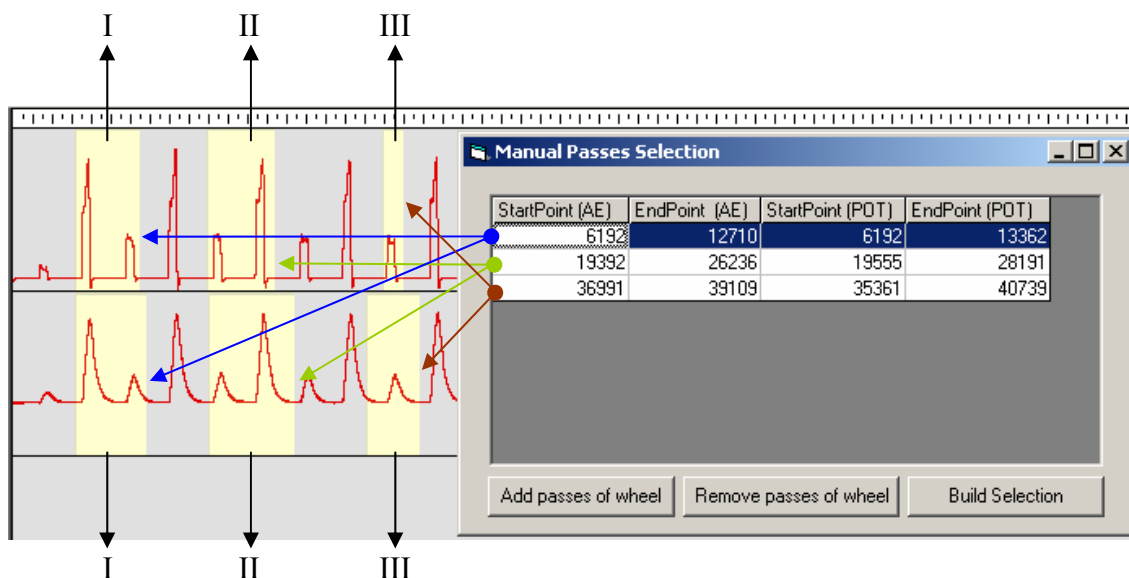


Figura 31 – Aparência da janela Seleção Manual de Passadas (*Manual Passes Selection*)

5. Processamento On-Line

O Processamento On-Line é a parte principal desta dissertação de mestrado, entretanto, a maior parte das funções atribuídas ao Processamento Off-Line são empregadas também no Processamento On-Line.

Pode-se facilmente perceber que o Processamento On-Line engloba todos os recursos necessários para a determinação dos parâmetros de queima durante o processo de retificação tangencial plana, incluindo características de hardware e software. As características de hardware que serão abordadas envolvem basicamente a placa que aquisição de dados enquanto que as características de software envolvem o interfaceamento entre o Visual Basic e a placa de aquisição em questão.

Seria impossível se imaginar a detecção de queima no processo de retificação sem antes se ter desenvolvido todas as rotinas comentadas acima, pois estas rotinas são a base de todo o processamento. Jamais se poderia calcular um parâmetro sem a extração correta das passadas e ainda, não se poderia extrair as passadas sem a correta aplicação de filtros digitais, portanto, as etapas anteriores formam uma estrutura sólida de recursos que são extremamente úteis durante o Processamento On-Line.

5.1. Sistema de Aquisição de Dados Desenvolvido

Para avaliar o sistema de aquisição desenvolvido, foi incorporada ao software uma ferramenta para aquisição de dados sem inicialmente qualquer processamento de parâmetros. Esta ferramenta simplesmente coleta os dados através da placa de aquisição e os armazena nos respectivos canais selecionados previamente.

Para ativar esta ferramenta, o usuário deve clicar sobre Ferramentas (*Tools*) na janela principal e então Aquisição de Dados Apenas (*Acquisition Data Only*). A Figura 32 mostra a aparência da janela que aparecerá.

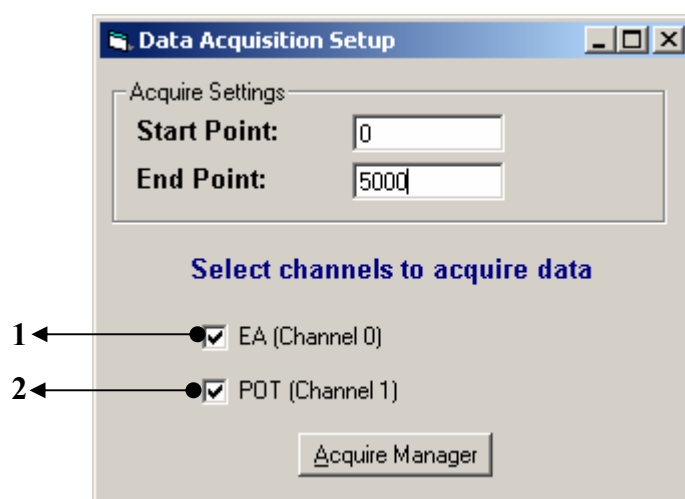


Figura 32 – Janela de Configurações para Aquisição de Dados (*Data Acquisition Setup*)

Através da janela mostrada na Figura 32, o usuário poderá selecionar a partir de qual posição do canal os dados serão armazenados

simplesmente atribuindo o seu valor no campo Ponto Inicial (*Start Point*). O campo Ponto Final (*End Point*) possibilita ao usuário definir em que posição do canal a aquisição deve ser finalizada. As informações pertinentes a *Sample Rate*, *Scan Rate*, etc. serão importadas do item Configurações Gerais definido previamente pelo usuário.

Para exemplificar, suponha-se que a taxa de amostragem fosse igual a 1000 amostras por segundo, o Ponto Inicial igual a 0 e o Ponto Final igual a 5000. Como a cada segundo 1000 pontos são adquiridos, tem-se 5 segundos de tempo de aquisição neste caso. Isto é importante porque se deve sempre saber a relação entre o número de pontos necessário para que um determinado tempo de aquisição seja utilizado.

Os números 1 e 2 da Figura 32 mostram ao usuário quais os canais disponíveis para a aquisição de dados. O usuário deve marcar a caixa de seleção daqueles canais que ele deseja fazer a aquisição simultânea. O usuário pode escolher qualquer um dos canais criados anteriormente no item Hardware da janela Configurações Gerais. Caso houvesse mais canais, eles estariam listados também na janela 32. Deve-se perceber que todos os canais são adquiridos simultaneamente, por isso, quanto maior o número de canais selecionados, maior será o tempo que o software levará para armazenar os dados.

Após a definição destes parâmetros, o usuário deve clicar no botão Gerenciamento de Aquisição (*Acquire Manager*). A janela é mostrada na Figura 33.

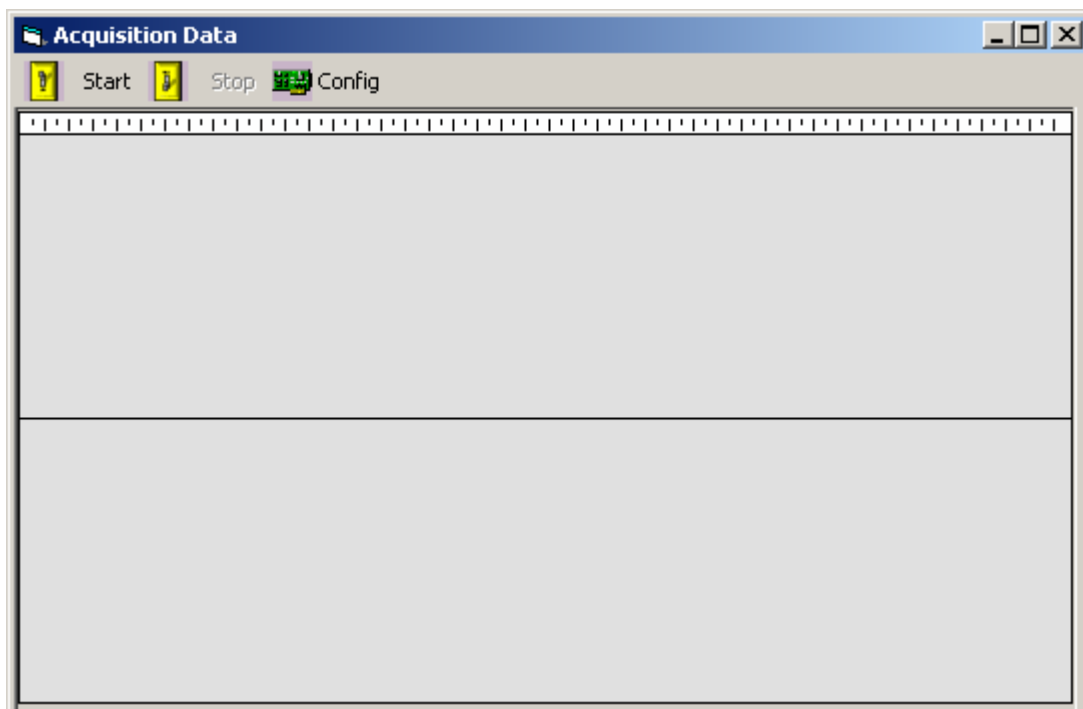


Figura 33 – Janela Aquisição de Dados

A janela mostrada pela Figura 33 simplesmente possibilita ao usuário iniciar e finalizar a aquisição. O botão Iniciar (*Start*) permite que o processo seja iniciado e o botão Parar (*Stop*) suspende o processo de aquisição, mesmo que ele não tenha sido completado. Através do botão Configurar (*Config*) o usuário pode retornar a janela mostrada na Figura 32 para que os parâmetros de aquisição possam ser alterados.

Na Figura 34 podemos observar a aquisição dos sinais de Emissão Acústica e Potência Elétrica utilizando este sistema de aquisição desenvolvido.

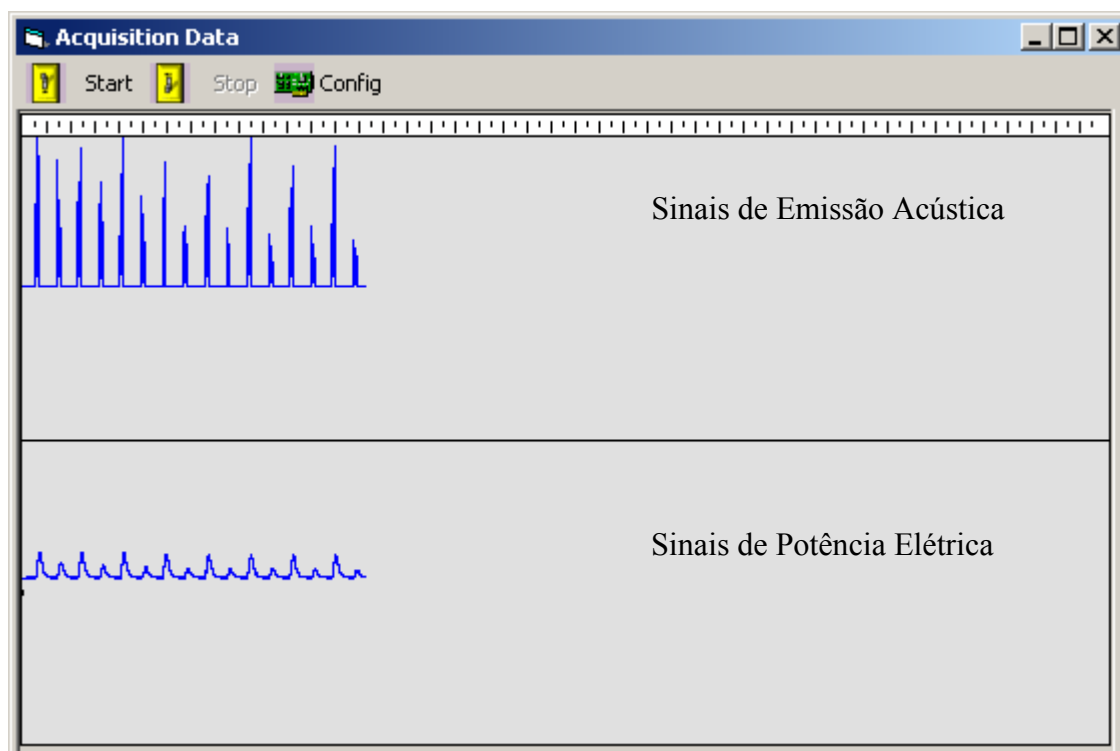


Figura 34 – Janela Aquisição de Dados com os Sinais de Emissão Acústica e Potência Elétrica

5.2. Processamento dos Parâmetros de Queima On-Line

O Processamento de Parâmetros de Queima On-Line reúne todas as rotinas desenvolvidas e que foram discutidas em tópicos anteriores.

A detecção da queima ocorre nas seguintes etapas:

- Através da placa de aquisição de dados os dados de Emissão Acústica e Potência Elétrica são adquiridos continuamente.
- Utilizando os algoritmos de detecção automática de passadas discutidos anteriormente, as passadas são selecionadas.
- O Parâmetro de Queima é calculado para cada passada encontrada.
- Caso o patamar de queima seja alcançado, o operador é alertado e o processo interrompido.

A principal informação desta etapa é o patamar de queima que consiste em encontrar o instante em que a queima ocorre para que o processo seja

interrompido. Este patamar precisa ser descoberto anteriormente através de ensaios realizados no Laboratório de Usinagem por Abrasão do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da UNESP – Bauru, sendo que para cada condição de usinagem um novo patamar deve ser estabelecido. Podem-se notar nos ensaios realizados que para cada condição de usinagem este patamar pode variar significativamente, chegando a dobrar ou até triplicar dependendo da situação.

Podem-se perceber nos capítulos referentes à detecção automática de passadas (capítulo material e métodos) que existem alguns parâmetros como, por exemplo, o Y_{base} que devem ser calculados previamente para que as passadas possam ser detectadas. Desta forma, antes de iniciar o processo de detecção de queima, torna-se necessário ler por alguns segundos os sinais de Emissão Acústica e Potência Elétrica com a máquina retificadora desligada. Desta forma, é possível determinar previamente os parâmetros fixos do processo.

Os algoritmos de otimização utilizados na detecção de passadas agora são intercalados com a detecção de cada passada, permitindo um resultado imediato das passadas válidas.

A detecção de queima *on-line* pode ser acessada pelo usuário, bastando para isso clicar em “Controle” (*Contol*) do menu da janela principal e, então, *On-Line Process Control*.

A Figura 35 mostra a janela de Processamento de Dados On-Line (*Processing Data On-Line*) que permite ao usuário manipular a detecção de queima on-line.

Para que a detecção de queima ocorra, o usuário deve definir quais os canais correspondem ao sinal de emissão acústica RMS (*Acoustic Emission Signal - RMS*) e potência elétrica de acionamento do rebolo (*Electric Power of Grinding Wheel*). O usuário pode salvar os dados que serão adquiridos pela placa de aquisição de dados, armazenando-os nos seus respectivos canais, bastando para isso selecionar a caixa “Salvar Este Canal” (*Save this Channel*) na frente do canal desejado.

Após a seleção dos canais, o usuário deve definir qual o parâmetro de queima (*Burning Parameter*) que será utilizado na detecção da queima e qual o tipo de alarme (*Burning Alarm*) que será usado para avisar o operador que a queima ocorre. O usuário pode escolher entre enviar um sinal para o canal digital 0 da placa de aquisição (*Send to Output 1*), mostrar uma janela no Windows avisando a ocorrência da queima (*Show Window*) ou emitir um som através da placa de som do computador (*Play the Sound*). Quando o usuário seleciona a opção para avisar o operador através do canal digital da placa de aquisição, as rotinas DIG_Prt_Config e DIG_Prt_Out são utilizadas (ver capítulo material e métodos).

Após a escolha do parâmetro o usuário deve posicionar a seta indicada pelo número 3 da Figura 35 no limiar de queima. A seta pode ser movimentada para cima (sentido de L_s) e para baixo (sentido de L_i) simplesmente mantendo o botão esquerdo do mouse pressionado sobre a seta e movimentando a seta no sentido desejado. A linha horizontal de cor vermelha acompanha o movimento da seta e o número contido no interior da seta (no exemplo, assume o valor 300) também é atualizado. O usuário se desejar pode modificar este parâmetro simplesmente clicando sobre a seta e modificando o valor em seu interior.

A seta sempre varia entre os valores definidos em Escala Mínima (*Scale Min*) e Escala Máxima (*Scale Max*), ou seja, se a escala mínima vale 0 e a escala máxima vale 600, a seta poderá conter valores entre 0 e 600. A escala precisa ser modificada a cada tipo de parâmetro utilizado, pois para cada parâmetro de queima teremos uma amplitude diferente.

O botão “Ajustar Parâmetros On-Line” (*Adjust On-Line Parameters*) deve ser pressionado pelo usuário para que os parâmetros fixos na detecção de passadas seja definido previamente. Na verdade quando este botão é pressionado os limiares de Emissão Acústica RMS e Potência Elétrica são extraídos, quando a máquina retificadora não está operando (são definidos os padrões constantes).

O número 4 indicado na Figura 35 permite ao usuário definir quantas passadas serão mostradas na mesma janela. Quando este limite é alcançado a janela é limpa.

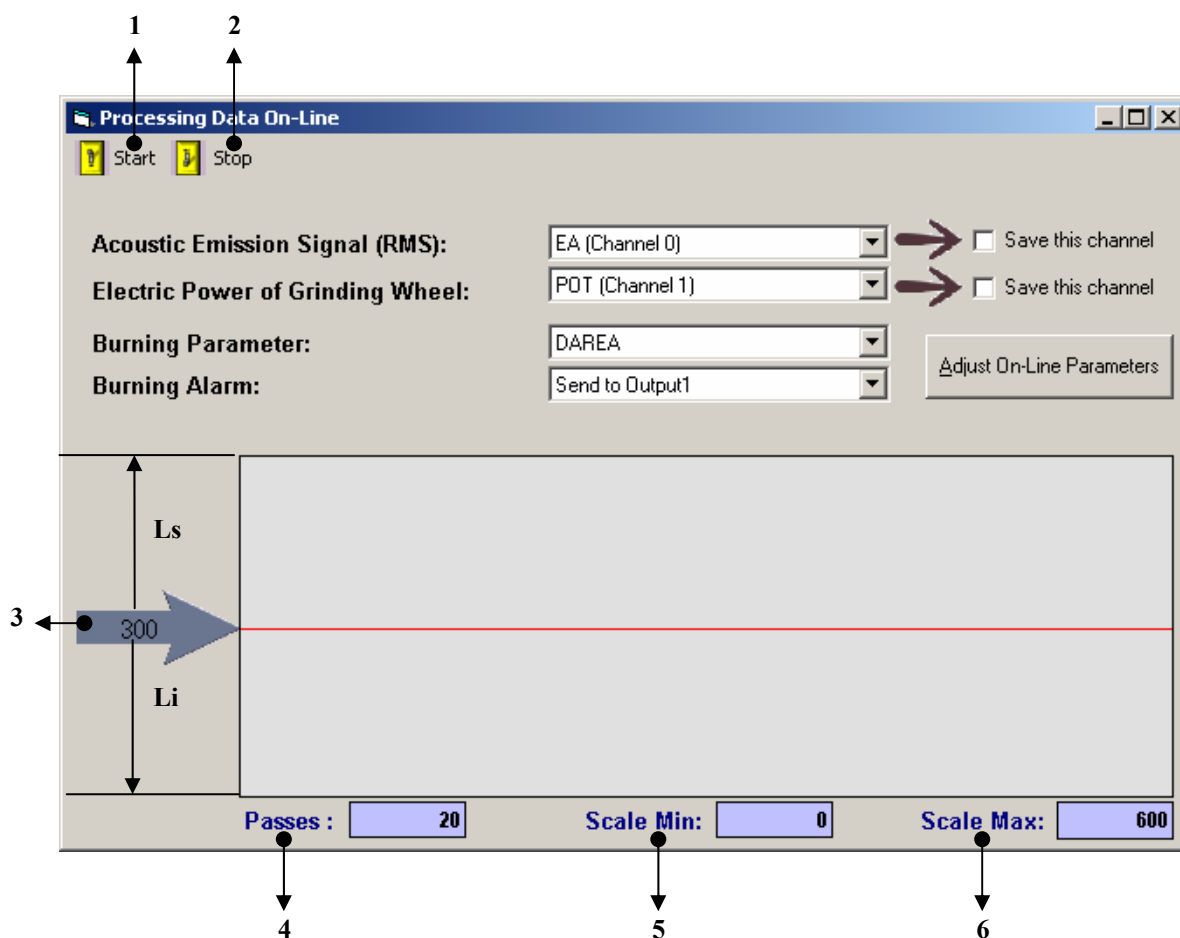


Figura 35 – Janela Processamento de Dados On-Line

Os números 1 e 2 da janela mostrada na Figura 35 permitem ao usuário iniciar e finalizar o processo de detecção de queima on-line. Se o usuário não interromper o processo pressionando “*Stop*”, o processo só será encerrado quando o valor do parâmetro de queima alcançar o limite definido pela seta. Nesse caso o alarme será disparado para avisar o usuário que a queima ocorreu.

É importante lembrar que os resultados obtidos não são armazenados em disco, mas o usuário pode optar pelo armazenamento dos dados

nos canais, desta forma, torna-se possível recalculer os parâmetros utilizando a ferramenta “Processamento dos Parâmetros de Queima Off-Line”.

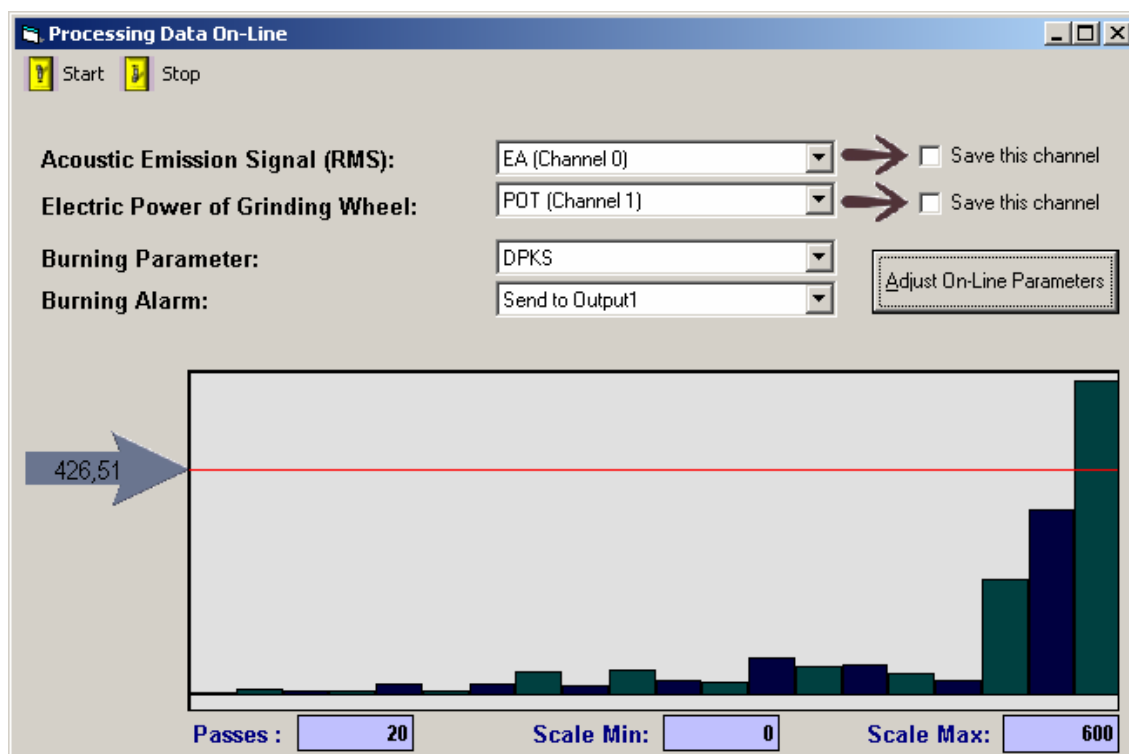


Figura 36 – Janela Processamento de Dados On-Line na Detecção de Queima

A Figura 36 mostra a aparência da janela Processamento de Dados On-Line durante a operação, indicando a detecção da queima na última passada da janela (passada de número 20).

6. Banco de Dados

O principal objetivo desta etapa é desenvolver um ambiente e uma estrutura de Banco de Dados para cadastrar cada um dos ensaios realizados, permitindo o armazenamento dos limiares de queima para cada parâmetro segundo determinada condição de usinagem.

Para acessar essa Base de Dados o usuário deve clicar em Base de Dados (*Database*) e, então Conectar (*Connect*). A Base de Dados remota será localizada na rede e posteriormente aberta para a manipulação dos dados.

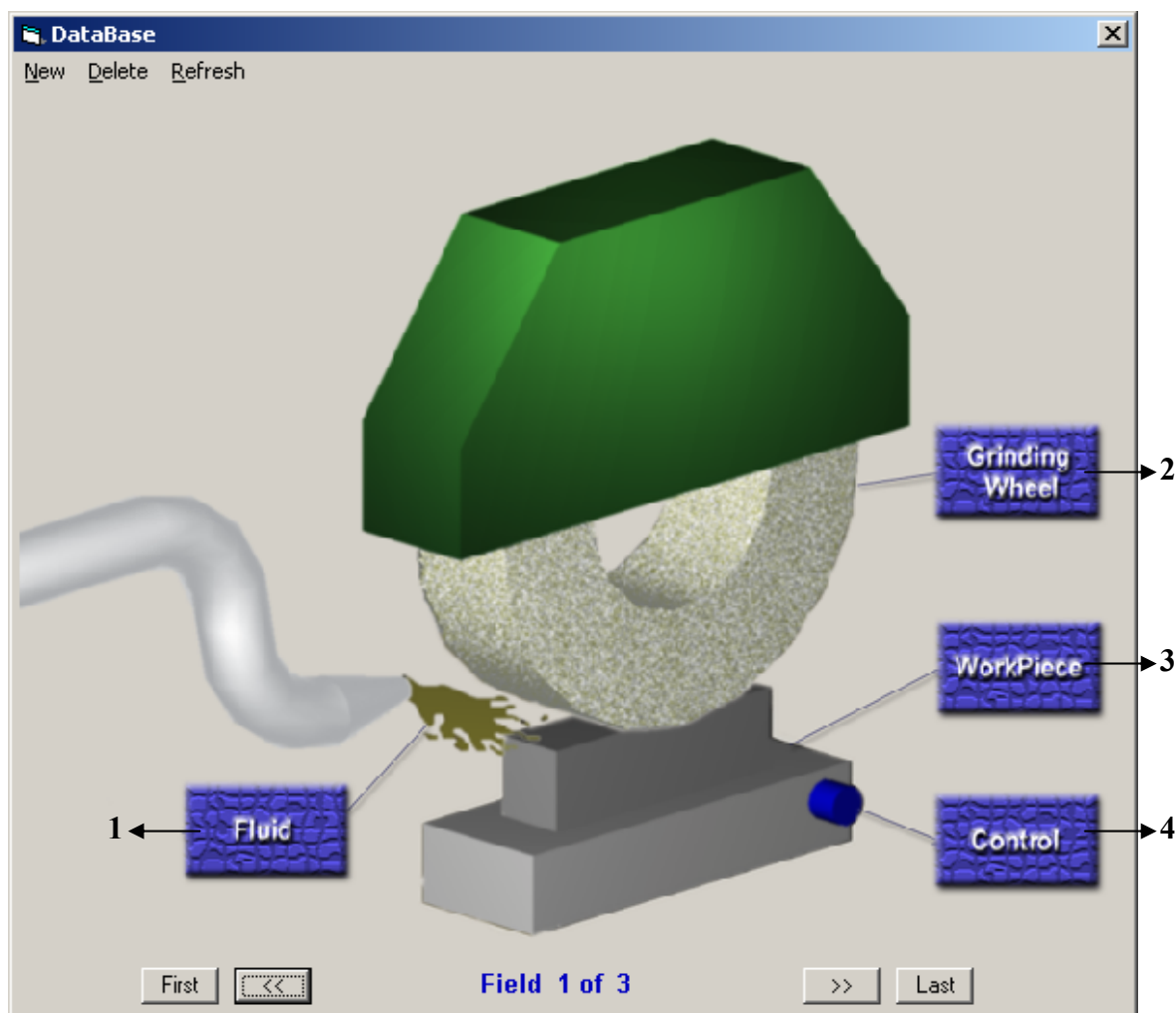


Figura 37 – Janela Base de Dados (*Database*)

A Figura 37 mostra a aparência da janela “*Database*”. Através dos botões “*First*” e “*Last*” o usuário pode ir para o primeiro e último registro cadastrado na Base de Dados respectivamente.

Os botões “*>>*” e “*<<*” possibilita ao usuário percorrer cada um dos registros cadastrados na base de dados.

O menu mostrado na Figura 37 contém 3 itens: Novo (*New*) que permite que um outro registro seja incluído na base de dados; Apagar (*Delete*) que permite que o usuário exclua o registro atual definitivamente; Atualizar (*Refresh*) que atualiza a base de dados propagando as modificações e atualizações que outros usuários tenham feito na base de dados.

Clicando nos botões 1,2,3 e 4 mostrados na Figura 37, o usuário pode acessar cada uma das seções da base de dados, pois, toda a base de dados encontra-se subdividida em seções: Rebolo (*Grinding Wheel*), Peça (*Workpiece*), Fluido (*Fluid*) e Controle (*Control*).

A seção Rebolo reúne todos os campos que referem-se as características do rebolo. A Figura 38 mostra os campos envolvidos na seção Rebolo. Nesta seção o usuário pode definir Tipo do Rebolo (*Grinding Wheel Type*), Granulometria (*Grain size*), Diâmetro do Rebolo (*Grinding wheel diameter*), Largura do Rebolo (*Grinding wheel width*), Velocidade Angular do Rebolo (*Grinding wheel speed*), Velocidade Superficial do Rebolo (*Grinding speed of wheel*) e Profundidade de Corte (*Depth of cut*).

Na seção Peça o usuário pode definir as características da peça. A Figura 39 mostra os campos envolvidos na seção Peça. Nesta seção o usuário pode definir Material da Peça de Trabalho (*Workpiece Material*), Comprimento da Peça (*Workpiece length*), Largura da Peça (*Workpiece width*), Velocidade da Peça ou da mesa (*Workpiece speed*) e Espessura Equivalente (*Equivalent Thickness*).

A seção Fluido permite que o usuário defina as características da Fluido utilizado. A Figura 40 mostra os campos envolvidos na seção Fluido. Nesta seção o usuário pode definir Tipo de Fluido (*Fluid type*), Vazão do Fluido (*Flow rate*), Pressão do Fluido (*Fluid pressure*) e Temperatura do Fluido (*Fluid Temperature*).

Na seção Controle o usuário define as características para a Detecção da Queima. A Figura 41 apresenta os campos envolvidos na seção Controle. Nesta seção o usuário define basicamente 2 parâmetros: O Parâmetro de Queima utilizado no ensaio (*Burning Parameter*) e o Limiar de Queima (*Burning Threshold*).

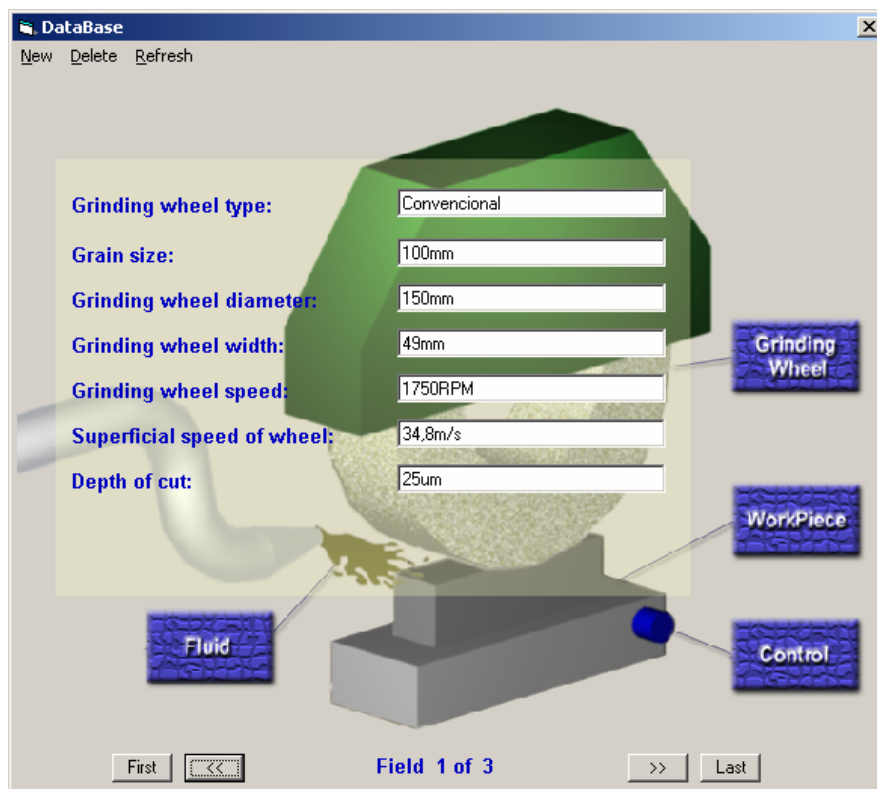


Figura 38 – Janela Base de Dados (*Database*) na Seção Rebolo (*Grinding Wheel*)

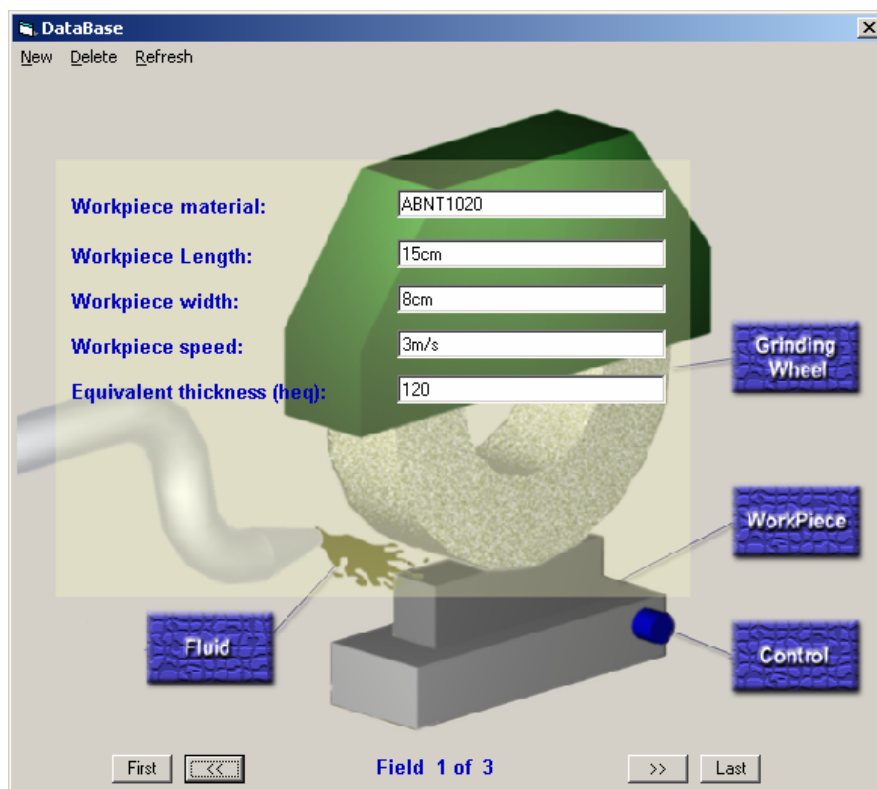


Figura 39 – Janela Base de Dados (*Database*) na Seção Peça (*Workpiece*)

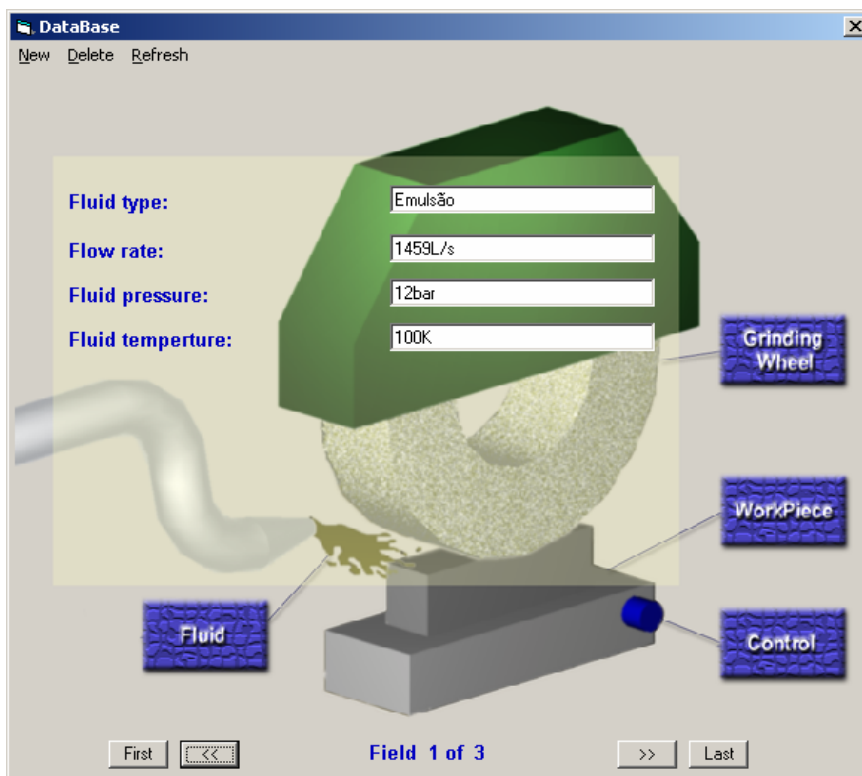


Figura 40 – Janela Base de Dados (*Database*) na Seção Fluido (*Fluid*)

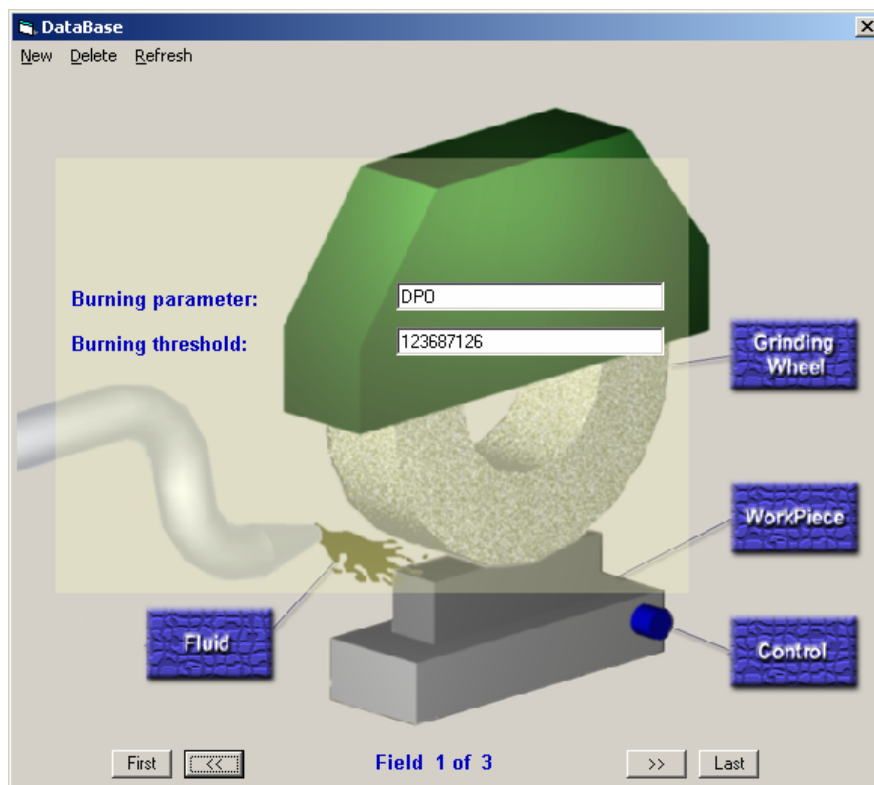


Figura 41 – Janela Base de Dados (*Database*) na Seção Controle (*Control*)

Esta base de dados é do tipo Access e utiliza os recursos ADO (*ActiveX Data Objects*) através do Visual Basic o que garante o completo controle e gerenciamento dos dados. A utilização de recursos avançados de construção de formulários permite que mesmo sem conhecimentos em programação os usuários possam incluir outros campos na base dados, bastando para isso editar um arquivo texto e modificar as propriedades da mesma.

7. Acesso Remoto via Internet

7.1. Implementação do Servidor no *Grinding Analyses*

Após um estudo detalhado e a implementação computacional das rotinas para acesso remoto, realizou-se a inclusão destes recursos no software *Grinding Analyses* desenvolvido.

A aplicação servidora foi criada junto com a janela Processamento de Dados On-Line (*Processing Data On-Line*). Um outro software denominado controle remoto (*Remote Control*) foi desenvolvido paralelamente e consiste da aplicação cliente para acessar os dados remotamente.

A janela Processamento de Dados On-Line com os recursos de acesso *on-line* é mostrada na Figura 42.

É possível notar que não houve grandes modificações na janela principal, a não ser um novo botão no menu chamado “Net”. Este botão torna-se visível somente quando existe uma comunicação de rede ativa, portanto, tal afirmação explica a sua ausência na Figura 35 do item 5.2. Ao se pressionar este botão aparece um menu suspenso denominado “Menu Internet” (figura 42). Neste menu encontram-se todas as opções necessárias para ativar o serviço de acesso remoto.

Existem três opções neste menu: Atualizar Servidor HTTP (*Update HTTP Server*), Habilitar Servidor de Controle Remoto (*Enable Remote Control Server*) e Configurações (*Settings*).

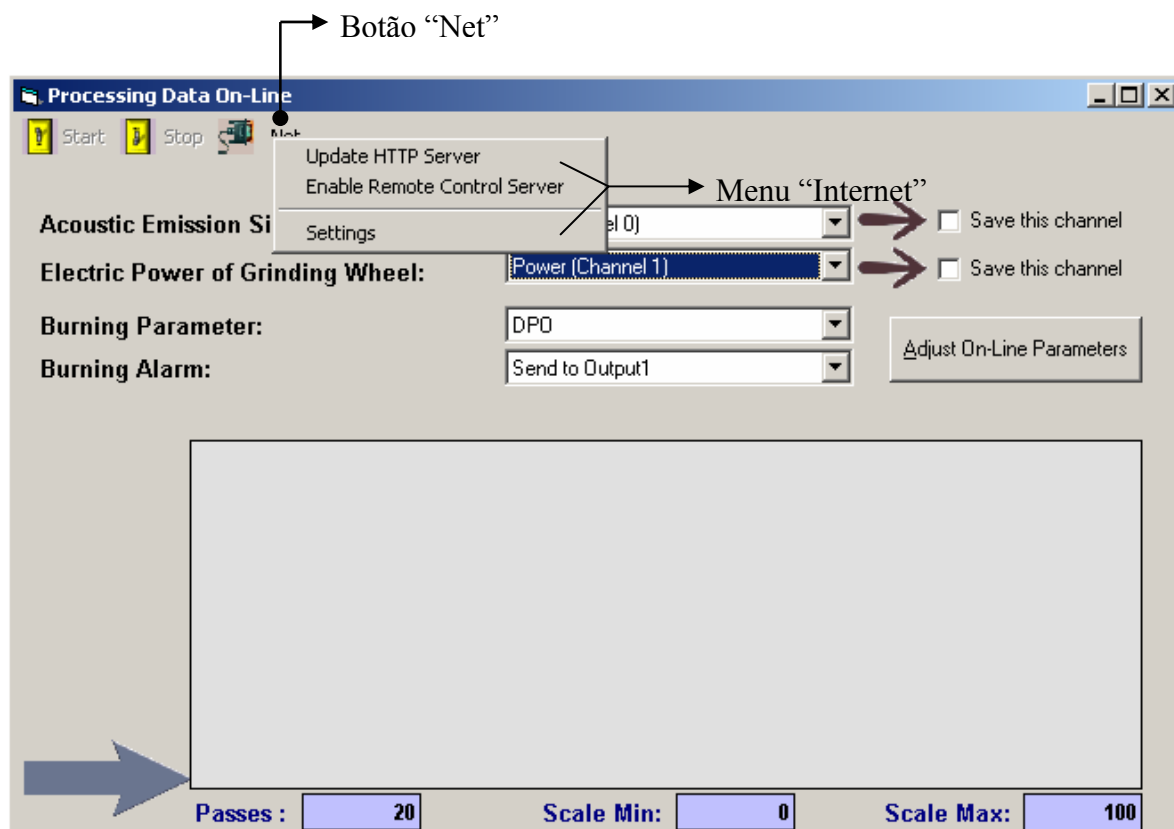


Figura 42 – Janela *Processing Data On-Line* com suporte a Internet

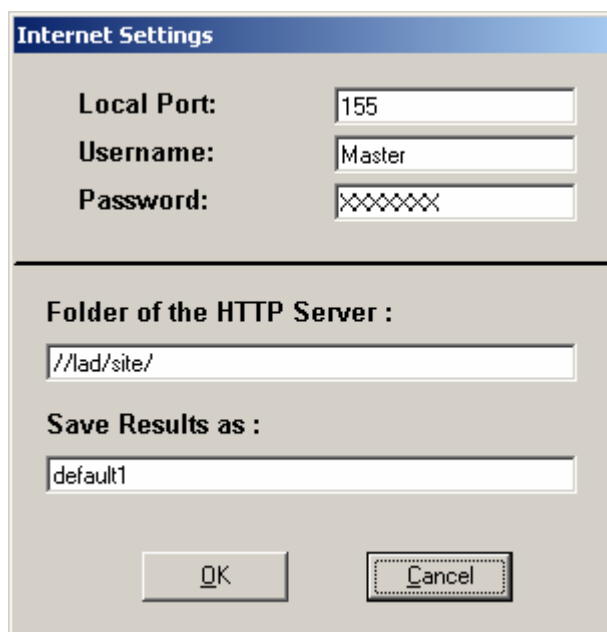
As duas primeiras opções desse menu podem ser marcadas ou desmarcadas com o clique do *mouse*, ativando ou desativando cada um dos recursos.

Uma atenção especial deve ser dada à opção “Atualizar Servidor HTTP”, pois ainda não foi comentado tal recurso. Na verdade esta é uma opção extremamente interessante, pois permite que usuários conectados a Internet através de seus *browsers* (*Internet Explorer*, *Netscape*, etc.) possam visualizar o processo que está em andamento na retífica. O que ocorre é que a cada passada uma cópia da imagem do gráfico de barras é atualizada num servidor HTTP remoto configurado previamente. Desta forma, conforme as passadas vão ocorrendo, um novo gráfico é colocado em determinada pasta deste servidor http, permitindo a sua visualização em um simples *browser*.

Quando a opção “Habilitar Servidor do Controle Remoto” está ativada, recursos são alocados e um servidor (aplicação servidora) para acesso remoto é inicializado no *Grinding Analyses*. Assim, através do software de controle remoto torna-se possível visualizar o processo de retificação em andamento e alterar parâmetros caso seja necessário.

Se a opção “Configurações” for selecionada, a janela de Figura 43 aparecerá.

Os campos Porta Local (*Local Port*), Nome de Usuário (*Username*) e Senha (*Password*) são utilizados para definir em qual porta a aplicação cliente deve se conectar, e qual nome de usuário e senha que são válidos para a comunicação. Nota-se que nem a chave pública, nem a privada podem ser alteradas ou definidas pelo usuário. Estes campos referem-se as configurações do servidor remoto e só são válidas quando a opção “Habilitar Servidor de Controle Remoto” estiver ativa.



The image shows a dialog box titled "Internet Settings". It has a blue header bar. The main area is light gray. There are three rows of labels and input fields: "Local Port:" with a text box containing "155", "Username:" with a text box containing "Master", and "Password:" with a text box containing "XXXXXXXX". Below these is a horizontal separator line. Underneath is the label "Folder of the HTTP Server :" followed by a text box containing "//lad/site/". Below that is the label "Save Results as :" followed by a text box containing "default1". At the bottom are two buttons: "OK" and "Cancel".

Figura 43 – Janela *Internet Settings*

As opções “Pasta do Servidor http” (*Folder of the HTTP Server*) e “Salvar Resultados como” (*Save Results as*) são pertinentes somente quando a opção “Atualizar Servidor HTTP” estiver ativa. Através destas duas opções é possível dizer onde deve ser salva a janela que mostra o parâmetro de queima enquanto o processo ocorre. A pasta em questão deve estar compartilhada na rede e mapeada através de um servidor HTTP, com um nome lógico adequado. Uma página com extensão “.htm” deve ser criada para carregar no *browser* a imagem que será salva pelo *Grinding Analyzes*. O nome desta imagem pode ser definido no campo “Salvar Resultados como” e esta imagem terá extensão “.jpg” como padrão.

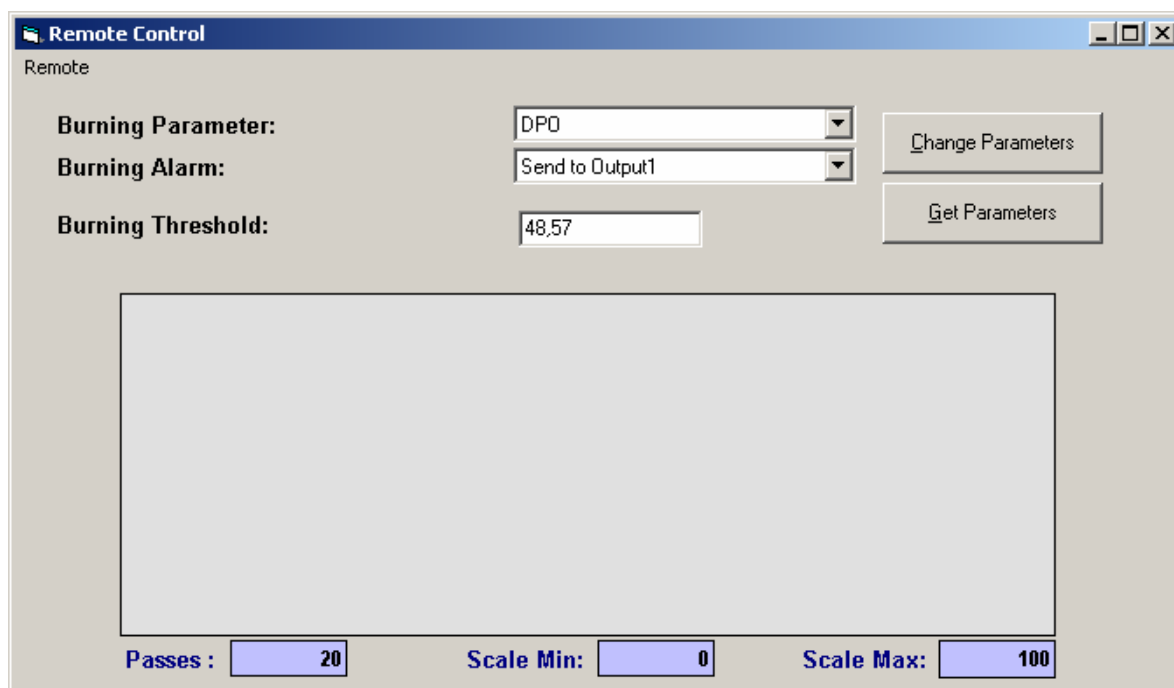
O botão “OK” confirma a operação e o botão “Cancel” cancela as modificações.

7.2. Implementação do Controle Remoto (Cliente)

Para que seja estabelecida uma comunicação cliente-servidor, precisa-se de uma aplicação servidora e de uma aplicação cliente. A aplicação servidora incorporada ao *Grinding Analyzes* foi mostrada no tópico anterior. Este tópico abordará o software cliente que foi denominado de controle remoto (*Remote Control*).

Na verdade, o software cliente (*Remote Control*) foi desenvolvido para ser executado em qualquer máquina com acesso a Internet, pois a sua finalidade é permitir que um operador distante do processo de retificação possa visualizar a situação atual do mesmo, checando a presença ou não da queima, podendo até mesmo alterar parâmetros quando julgar necessário.

A Figura 44 apresenta a aparência do software Controle Remoto (*Remote Control*).

Figura 44 – Software *Remote Control*

Nesta janela podem-se notar praticamente os mesmos parâmetros da janela “Processamento de Dados On-Line”. Isto ocorre porque o objetivo é oferecer ao usuário remoto as mesmas imagens obtidas no controle de processo.

Na Figura 44, o campo Parâmetro de Queima (*Burning Parameter*) permite ao usuário modificar o parâmetro de queima remotamente. O campo Alarme de Queima (*Burning Alarm*) possibilita que o operador modifique a forma pela qual o software emitirá um aviso de alerta que ocorreu a queima da peça que está sendo usinada. O Limiar de Queima pode ser alterado simplesmente mudando o valor do campo *Burning Threshold*.

Existem dois botões neste software que tem funções muito especiais. O botão Pegar Parâmetros (*Get Parameters*) faz com que todas as opções da janela principal sejam atualizadas para ficarem exatamente como a janela Processamento de Dados On-Line. Isto é necessário para saber se os dados foram realmente modificados, pois pode ocorrer algum erro na transmissão que comprometa o comando do operador que está atuando remotamente no sistema.

O botão Mudar Parâmetros (*Change Parameters*) é extremamente importante porque é ele que realmente efetiva as alterações no Processo de retificação, pois enquanto ele não é pressionado, nenhum comando é enviado para a aplicação servidora. Sendo assim, sempre que modificações forem realizadas, torna-se necessário pressionar este botão para que elas sejam definitivamente enviadas ao servidor que modificará instantaneamente os parâmetros do processo de retificação.

O quadro em cinza no centro da janela principal do software Controle Remoto nada mais é do que uma região destinada à impressão de gráficos On-Line, ou seja, enquanto o processo está ocorrendo e a cada passada do rebolo sobre a peça um gráfico em barras é gerado para mostrar o aumento ou a diminuição do parâmetro de queima em questão. Sendo assim, o usuário poderá visualizar exatamente o que está ocorrendo no processo.

Os campos “*Passes*”, “*Scale Min*” e “*Scale Max*” são exatamente iguais aos contidos na janela Processamento de Dados On-Line e suas funções idênticas. Apesar de estarem embaixo da janela gráfica, eles podem ser alterados como os outros campos, sendo que essas modificações também são passadas ao *Grinding Analyses* quando o botão Mudar Parâmetros é pressionado.

O menu superior denominado “*Remote*” tem duas opções: Conectar (*Connect*) que inicia processo de comunicação com o servidor e a opção Configurações (*Settings*) que permite a alteração dos parâmetros para a conexão com o servidor. A Figura 45 mostra a aparência da janela Configurações.

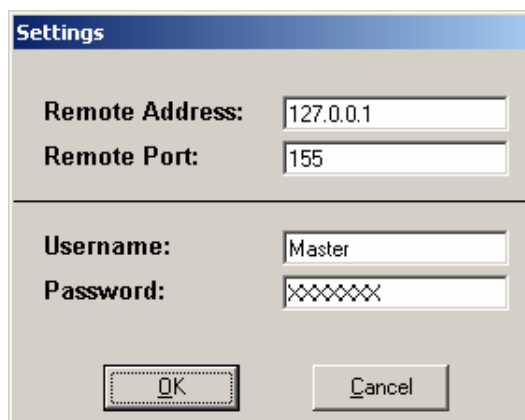


Figura 45 – Janela Configurações (*Settings*) do software *Remote Control*

Na janela da Figura 45 podem-se modificar os parâmetros para conexão com servidor. O campo Endereço Remoto (*Remote Address*) refere-se ao endereço IP da máquina na qual a aplicação servidora está sendo executada. Este endereço é utilizado pelo software cliente para localizar a aplicação servidora na rede e deve ser conhecido previamente para que a comunicação possa ser estabelecida.

A Porta Remota (*Remote Port*) é um parâmetro que depende também da aplicação servidora, pois a mesma fica executando um “*listen*” em determinada porta para verificar se algum cliente deseja-se conectar, por isso, este parâmetro também deve ser obtido previamente e igual a aplicação servidora.

Os campos Usuário (*Username*) e Senha (*Password*) são destinados a validar o operador durante uma solicitação de conexão a aplicação servidora. Estes valores são comparados com aqueles estabelecidos no servidor e caso não sejam iguais, a conexão é interrompida instantaneamente. Estes dois campos são utilizados para garantir uma segurança mínima no início da comunicação.

Além do nome de usuário e senha, existe um processo de criptografia dos dados para assegurar uma maior segurança ao processo, haja vista que o meio de comunicação é a Internet e pessoas mal intencionadas podem tentar burlar o sistema de segurança. Maiores informações sobre os métodos de criptografia e descriptografia implementados podem ser obtidos no capítulo Material e Métodos.

Anexo II

Filtros Digitais
“Introdução e Desenvolvimento
Matemático”

1. Introdução a Filtros Digitais

Filtros Digitais são usados para dois propósitos gerais: (1) separação de sinais que foram combinados, e (2) restauração de sinais que foram distorcidos de alguma forma. Filtros analógicos (eletrônica) podem ser usados para estas mesmas tarefas, entretanto, filtros digitais podem alcançar melhores resultados. Para o entendimento completo dos diversos tipos de filtros existentes, gastar-se-ia no mínimo sete capítulos, entretanto, o objetivo é apenas descrever os parâmetros importantes no estudo dos filtros digitais, ou seja, dar uma introdução a respeito deste vasto assunto que é a filtragem de sinais antes da sua implementação propriamente dita.

Filtros Digitais é uma parte muito importante do Processamento Digital de Sinais. Na realidade, sua extraordinária performance é uma das razões-chaves que levou o DSP (Processamento Digital de Sinais – *Signal Digital Processing*) a tornar-se tão popular (OPPENHEIM & WILLSKY, 1996).

Como mencionado anteriormente, os filtros tem 2 finalidades: separação de sinais e restauração de sinais. A separação de sinais é necessária quando um sinal foi contaminado com uma interferência, ruído ou outra fonte de sinal. Por exemplo, imagina-se um dispositivo para medir a atividade elétrica do coração de um bebê (EKG) enquanto ele ainda está no ventre da sua mãe. O sinal puro será provavelmente corrompido pela respiração e batimento cardíaco da mãe. Portanto, um filtro deve ser usado para separar estes sinais de forma que eles possam ser individualmente analisados (SMITH, 1999).

A restauração de sinais é usada quando um sinal foi distorcido de alguma maneira. Por exemplo, uma gravação de áudio feita com um equipamento de baixa qualidade deve ser filtrada para melhorar a representação do som deixando o mais próximo ao original. Um outro exemplo é a nitidez de uma imagem adquirida com uma lente fora de foco, ou mesmo um tremor na câmera. Neste caso filtros também devem ser usados.

Ambos os problemas podem ser combatidos com filtros analógicos ou digitais. A dúvida mais comum é qual o melhor tipo de filtro: o analógico ou o digital? Os filtros analógicos são baratos, rápidos e tem uma grande abrangência em amplitude e frequência (SMITH, 1999). Os filtros digitais, em comparação, são amplamente superiores em termos de performance que pode ser alcançada. Por exemplo, um filtro digital passa-baixa pode ter um ganho de 1 mais ou menos 0,0002 para um sinal DC até a sua frequência de corte ($f_c=1000\text{Hz}$), e um ganho menor que 0,0002 para frequências 1Hz acima da frequência de corte (1001Hz). Note que é possível construir regiões de corte muito estreita, nesse caso da ordem de 1Hz, entretanto, isso não pode ser esperado de um filtro analógico com amplificadores operacionais. Os filtros digitais podem tornar-se milhares de vezes melhores em performances que os filtros analógicos. Com filtros analógicos, a ênfase está no tratamento da limitação da eletrônica, como a precisão e a estabilidade de resistores e capacitores. Em comparação, os filtros digitais são tão bons que a performance do filtro é frequentemente ignorada (PROAKIS & MANOLAKIS, 1996).

É comum dizer em Processamento Digital de Sinais que a entrada e saída dos filtros estão no domínio do tempo. Isto porque os sinais são usualmente criados por amostras em regulares intervalos de tempo. Mas esta não é a única maneira que a amostragem pode ocorrer. A segunda maneira mais comum da amostragem ocorrer é em iguais intervalos no espaço. Por exemplo, imagina-se a simultânea leitura de conjuntos de sensores de pressão distantes uns dos outros de 1cm montados ao longo da asa de um avião. Vários outros domínios são possíveis, entretanto, tempo e espaço são muito mais usuais (SMITH,1999).

Os tipos de filtros mais comuns são: passa-baixa, passa-alta, passa-banda, rejeita-banda e passa-tudo. De uma maneira geral quando se implementa um filtro digital utiliza-se um dos filtros acima mencionados ou um conjunto dos mesmos ligados em cascata. A Figura 1 mostra a curva de resposta para cada um dos filtros acima.

Neste trabalho utilizaram-se filtros digitais recursivos. Filtro recursivo é uma maneira eficiente de alcançar uma longa resposta ao impulso, sem

ter que executar uma convolução longa. Eles executam muito rapidamente, mas tem menor performance que outros filtros digitais. Filtros recursivos são chamados de filtros IIR (*Infinite Impulse Response*), sendo que sua resposta ao impulso é composta de um declínio exponencial (SMITH, 1999). Os filtros IIR são aplicados em situações de tempo real, onde o processo não pode parar e a filtragem tem que ocorrer a todo instante.

Os filtros IIR diferem-se dos outros tipos de filtros digitais que utilizam como meio a convolução em seu tratamento matemático. Os tipos de filtros que utilizam a convolução são conhecidos como Filtros FIR (*Finite Impulse Response*).

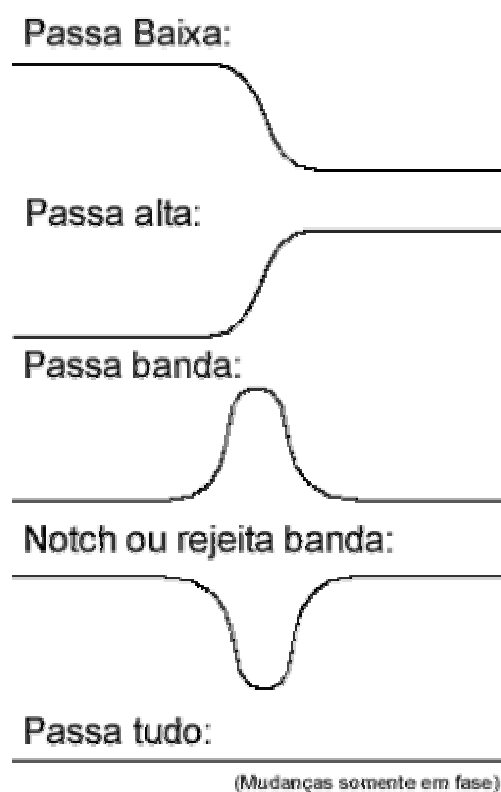


Figura 1 – Resposta dos Filtros no domínio da frequência (SMITH, 1999)

Os filtros IIR utilizam valores anteriores de saída para a criação da saída atual (este é o conceito de recursividade). A equação 1 mostra um filtro IIR típico.

$$y(t) = a_0x(t) + a_1x(t-1) + a_2x(t-2) + b_1y(t-1) + b_2y(t-2) + b_3y(t-3) \quad (1)$$

Os filtros IIR nunca podem utilizar valores futuros de saída porque tais valores não existem durante a aquisição de dados (os dados chegam em seqüência), desta forma, a saída atual poderá depender apenas do conjunto de entradas e dos valores de saída calculados anteriormente.

A implementação de um mesmo filtro IIR pode ser feita de diversos modos, entretanto, todo filtro IIR pode ser escrito dessa forma. Para que o filtro funcione corretamente, é necessário o cálculo dos conjuntos de parâmetros $[a_0, a_1, a_2, \dots, b_1, b_2, b_3, \dots]$ que será discutido nos tópicos a seguir.

A resposta de um filtro IIR frequentemente observada nos dados de uma amostra é como a Figura 2 a seguir:

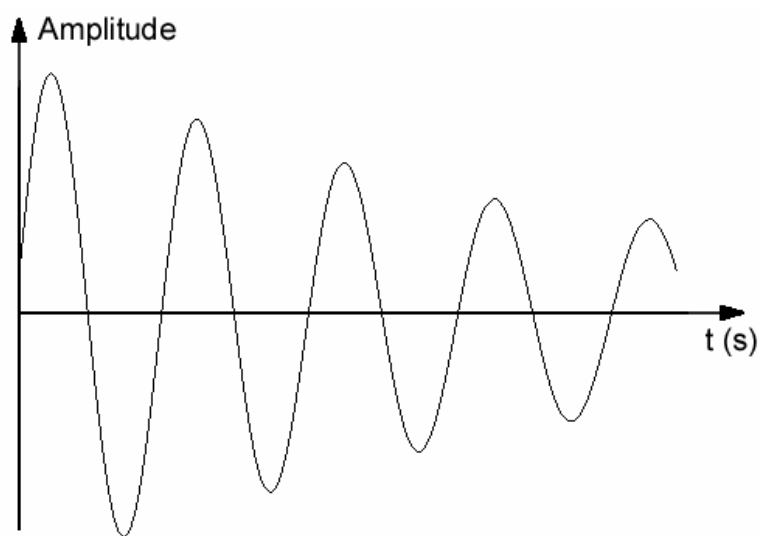


Figura 2 – Resposta de um filtro IIR (SMITH, 1999)

Alguns projetos de filtros IIR são instáveis, uma vez que os resultados obtidos na saída são mais ruidosos ao invés de mais “limpos”. Isso ocorre porque o cálculo dos pólos e zeros não foram feitos corretamente.

2. Filtros Digitais IIR

Os filtros digitais são extremamente importantes em qualquer processo que envolva aquisição de dados. Através dos filtros digitais torna-se possível à extração de ruídos provenientes do meio onde os sensores estão conectados.

Na detecção de queima normalmente se utilizam diversos tipos de sensores, entretanto, alguns deles são mais susceptíveis a ruídos que outros. No caso específico dos parâmetros FKS, DPO, DIFP, DPKS e DAREA, os sinais envolvidos são a Emissão Acústica e a Potência Elétrica do Motor, sendo o sensor de Emissão Acústica mais sensível ao ruído por ser capaz de captar qualquer tipo de onda mecânica propagada através da máquina.

Durante testes realizados no Laboratório de Usinagem por Abrasão do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da UNESP – Bauru notou-se que somente a Emissão Acústica apresentou grandes taxas de ruídos agregadas ao sinal, enquanto o sinal de Potência Elétrica do Motor mostrou-se bem mais estável e, portanto, sem a necessidade da filtragem.

O software desenvolvido denominado “*Grinding Analyses*” não oferece limitações na aplicação dos filtros digitais recursivos IIR, permitindo ao usuário a possibilidade de aplicá-lo em qualquer canal mapeado anteriormente (ver Anexo I).

Os filtros digitais recursivos apresentaram ótimos resultados com apenas um par de pólos conjugados no plano Z , o que garantiu extrema velocidade para a aquisição e processamento On-Line dos dados.

Para ilustrar o método utilizado para o cálculo dos parâmetros fixos do filtro digital IIR, mostra-se a seguir o desenvolvimento matemático dos filtros digitais IIR construídos.

2.1. Desenvolvimento Matemático dos Filtros Digitais Implementados

O filtro mais simples que poderia ser implementado foi utilizado com êxito no software (ver Anexo I). Este filtro foi desenvolvido utilizando apenas um par de pólos complexos conjugados, sendo um filtro do tipo passa-banda. A Figura 3 mostra os pólos do filtro no plano Z.

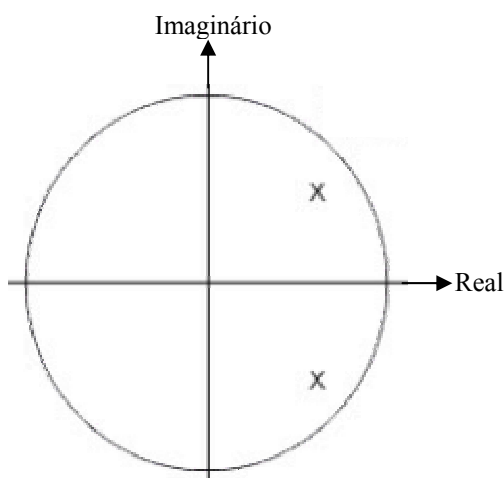
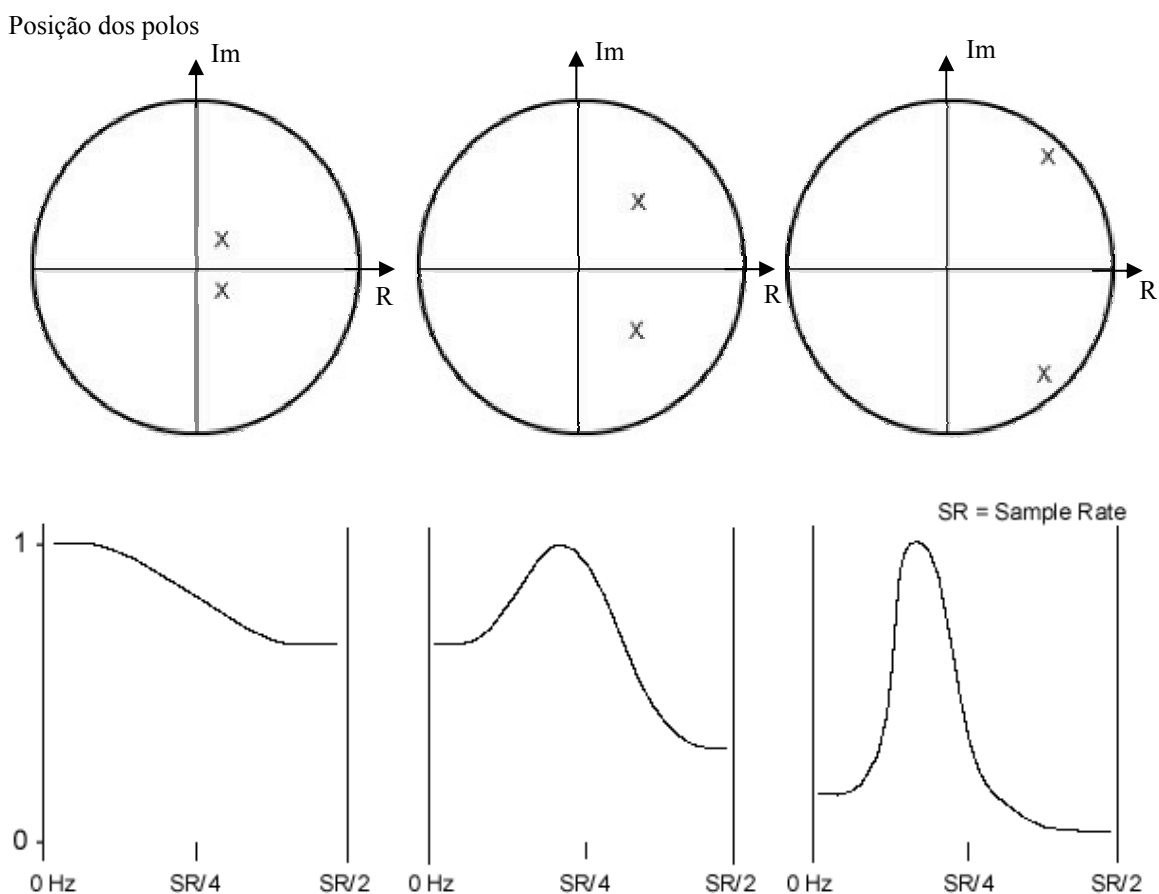


Figura 3 – Posição dos pólos no filtro Passa-Banda implementado (PROAKIS & MANOLAKIS, 1996)

Os pólos amplificam as frequências, dessa forma, pode-se concluir que a maioria das frequências amplificadas está no mesmo ângulo que o pólo. Na verdade é quase isso, o único problema vem do pólo conjugado, que também dá sua própria amplificação. O efeito é mais forte em ângulo próximos a 0 e π , onde, a distância entre os dois pólos é mínima. Dessa forma, o ângulo do pólo determina a frequência do filtro passa banda (PROAKIS & MANOLAKIS, 1996).

No filtro passa banda, um aumento no raio do pólo faz com que o valor de resposta torne-se mais íngreme e o passa banda mais estreito, como se vê na Figura 4. Os valores da resposta em frequência estão normalizados.



Figuras 4 – Resposta em frequência do filtro para diversas posições de polos

A distância entre o pólo e o centro do plano Z foi chamado de r. Desta forma, o valor r deve valer: $0 \leq r < 1$

Abaixo está representada a equação da função de transferência:

$$H(z) = a_0 \frac{(z - z_1)(z - z_2)(z - z_3)(z - z_4) \dots}{(z - p_1)(z - p_2)(z - p_3)(z - p_4) \dots} \quad (2)$$

onde z é a frequência na forma de coordenada em torno da circunferência unitária (complexo); H(z) retorna a resposta do filtro (complexo) de frequência z; p_1, p_2, p_3, \dots são as posições dos pólos; z_1, z_2, z_3, \dots são as posições dos zeros. a_0 é o primeiro coeficiente de entrada do filtro. Abaixo está representada novamente a fórmula do filtro:

$$y(t) = a_0x(t) + a_1x(t-1) + a_2x(t-2) + b_1y(t-1) + b_2y(t-2) + b_3y(t-3) \quad (3)$$

O filtro passa banda implementado possui somente um pólo e seu par conjugado, assim, a função de transferência pode ser simplificada:

$$H(z) = \frac{a_0}{(z-p_1)(z-p_2)} = \frac{a_0}{z^2 - p_1z - p_2z + p_1p_2} = \frac{a_0}{z^2 + (-p_1 - p_2)z + p_1p_2} \quad (4)$$

Substituindo p_1 e p_2 com as coordenadas dos pólos conjugados, tem-se:

$$p_1 = (p_x, p_y) = p_x + ip_y; \quad p_2 = (p_x, -p_y) = p_x - ip_y;$$

$$H(z) = \frac{a_0}{z^2 + \left(-(2p_x + ip_y) - (p_x - ip_y) \right)z + (p_x - ip_y)(p_x + ip_y)} \quad (5)$$

$$= \frac{a_0}{z^2 + (-2p_x)z + (p_x^2 - i^2 p_y^2)}$$

$$= \frac{a_0}{z^2 + (-2p_x)z + (p_x^2 + p_y^2)}$$

$$= \frac{a_0}{z^2 + (-2p_x)z^1 + (p_x^2 + p_y^2)z^0} \quad (6)$$

Analisando detalhadamente o divisor, tem-se:

$$z^2 + (-2p_x)z^1 + (p_x^2 + p_y^2)z^0 = 0 \quad | * z^{-2}$$

$$z^0 + (-2p_x)z^{-1} + (p_x^2 + p_y^2)z^{-2} = 0$$

$$z^0 = -(-2p_x)z^{-1} - (p_x^2 + p_y^2)z^{-2}$$

As potências de z são na verdade índices para a saída do filtro:

$$y(t+0) = -(-2p_x)y(t-1) - (p_x^2 + p_y^2)y(t-2) \quad (7)$$

Assim, sabe-se como calcular os coeficientes de $y(t)$ do pólo.

$$b_1 = 2px; \quad b_2 = -(px^2 + py^2)$$

Agora, tem-se a frequência do filtro passa banda que está no plano Z na posição p_h :

$$p_h = p_{hx} + ip_{hy}; \quad | p_{hx} = \cos\left(\frac{2\pi f}{SR}\right); \quad p_{hy} = \text{sen}\left(\frac{2\pi f}{SR}\right)$$

O pólo está no mesmo ângulo como a frequência no círculo unitário, porém com raio r . Conseqüentemente:

$$p_1 = r(p_h) = r(p_{hx}, p_{hy}) = r(p_{hx} + ip_{hy})$$

$$p_x = rp_{hx}$$

$$p_y = rp_{hy}$$

Agora que é conhecida a posição dos pólos dependentes da frequência, pode-se escrever os coeficientes de $y(t)$ como:

$$b_1 = 2p_x = 2rp_{hx}$$

$$b_1 = (p_x^2 + p_y^2) = \left(\left(r \cos\left(\frac{2\pi f}{SR}\right) \right)^2 + \left(r \text{sen}\left(\frac{2\pi f}{SR}\right) \right)^2 \right) = -r^2 \quad (8)$$

Porém, não se pode desconsiderar o dividendo (da função transferência), onde as potências de z estão na entrada do filtro:

$$a_0 z^0 = a_0 x(t+0) \quad (9)$$

Incluindo esta equação aos parâmetros que já foram encontrados:

$$y(t+0) = a_0 x(t) - (-2p_x)y(t-1) - (p_x^2 + p_y^2)y(t-2) \quad (10)$$

Após este procedimento, deve-se decidir o que atribuir a a_0 . Isso é chamado de normalização. A finalidade de a_0 é apenas ajustar a saída do filtro. No filtro passa banda, deseja-se que a amplificação na frequência passa banda seja igual a 1. Assim, deve-se escrever a equação:

$$|H(p_h)| = 1 \quad (11)$$

$$\left| \frac{a_0}{(p_h - p_1)(p_h - p_2)} \right| = 1 \quad | / a_0$$

$$\left| \frac{1}{(p_h - p_1)(p_h - p_2)} \right| = 1$$

$$\begin{aligned}
a_0 &= |(p_h - p_1)(p_h - p_2)| = \left| \left((p_{hx} + ip_{hy}) - r(p_{hx} + ip_{hy}) \right) \right| \\
&= \left| p_{hx}^2 (r-1)^2 + p_{hy}^2 (r-1)(r+2) + i(-2p_{hx}p_{hy}(r-1)) \right| \\
&= \sqrt{\left((p_{hx}^2 (r-1)^2 + p_{hy}^2 (r-1)(r+2)) \right)^2 + (-2p_{hx}p_{hy}(r-1))^2} \\
&= (1-r)\sqrt{r(r-4p_{hx}+2)+1} \tag{12}
\end{aligned}$$

Pode-se então concluir:

$SR =$ Frequência de amostragem;

$f =$ frequência central do passa banda;

$r = [0,1)$;

$p_{hx} = \cos\left(\frac{2\pi f}{SR}\right)$;

$a_0 = (1-r)\sqrt{r(r-4p_{hx}+2)+1}$;

$b_1 = 2r p_{hx}$;

$b_2 = -r^2$;

$y(t) = a_0 x(t) + b_1 y(t-1) + b_2 y(t-2)$;

Ou seja, através da frequência de amostragem, frequência de corte e o parâmetro r , pode-se determinar a_0 , b_1 , b_2 e então implementar a equação do filtro passa banda para o cálculo durante a aquisição dos dados.

De forma análoga, foi calculado também um filtro passa-baixa que foi implementado. A seguir serão apresentados apenas os resultados obtidos e não todas as passagens para o cálculo dos parâmetros, entretanto, tal informação pode ser obtida em qualquer livro de Processamento Digital de Sinais, como o “*The Scientist and Engineer’s Guide to Digital Signal Processing*” do autor Smith. A seguir os cálculos dos parâmetros do Filtro Passa Baixa:

$SR =$ Frequência de amostragem;

$f =$ frequência de corte do passa baixa;

$r = [0,1)$;

$c = 2 - 2 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot f}{SR}\right)$;

Para a utilização da forma recursiva do filtro passa-baixa, definiu-se 2 variáveis auxiliares: *speed* e *pos*. Inicialmente *speed* e *pos* valem 0. Para cada valor de entrada, o seguinte código é executado:

```
speed = speed + x(t) * c;  
pos = pos + speed;  
speed = speed * r  
y(t) = pos;
```

Onde $x(t)$ são os valores de entrada e $y(t)$ armazena o sinal filtrado.

A Figura 5 mostra a diferença de um sinal de emissão acústica não filtrado (figura 5a) com o mesmo sinal filtrado (figura 5b).

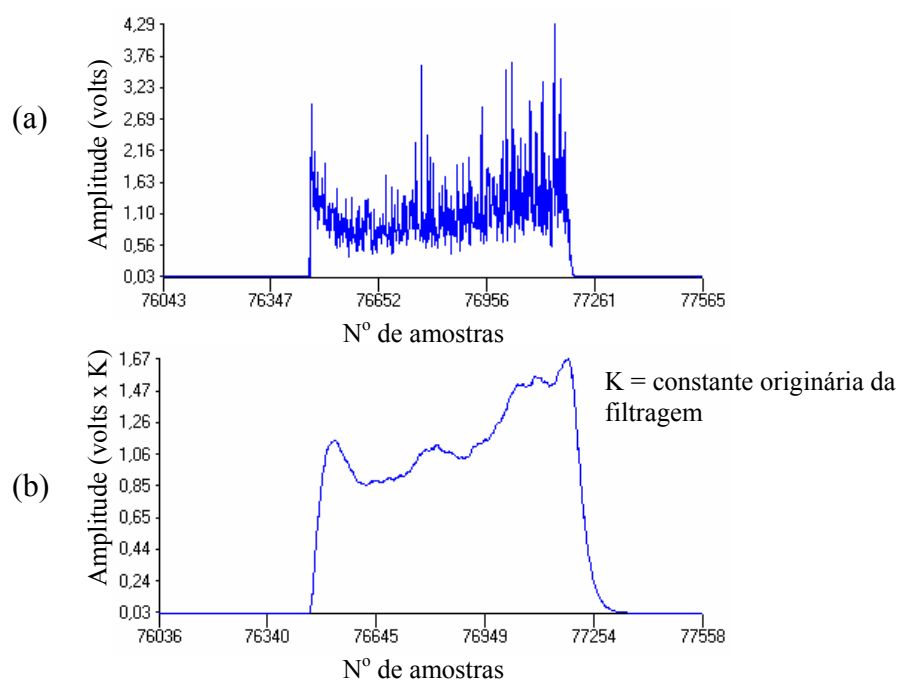


Figura 5 – Sinal de Emissão Acústica não filtrado e filtrado